



Qu'est-ce que la « Programmation » ?

D'une manière générale,
l'objectif de la programmation est de
permettre l'**automatisation** d'un certain nombre de tâches,
à l'aide de machines particulières:

les **automates programmables**





Automates programmables

➡ Un **automate** est un dispositif capable d'assurer, sans intervention humaine, un enchaînement d'opérations, correspondant à la réalisation d'une tâche donnée.

Comme exemple d'automates, on peut citer:

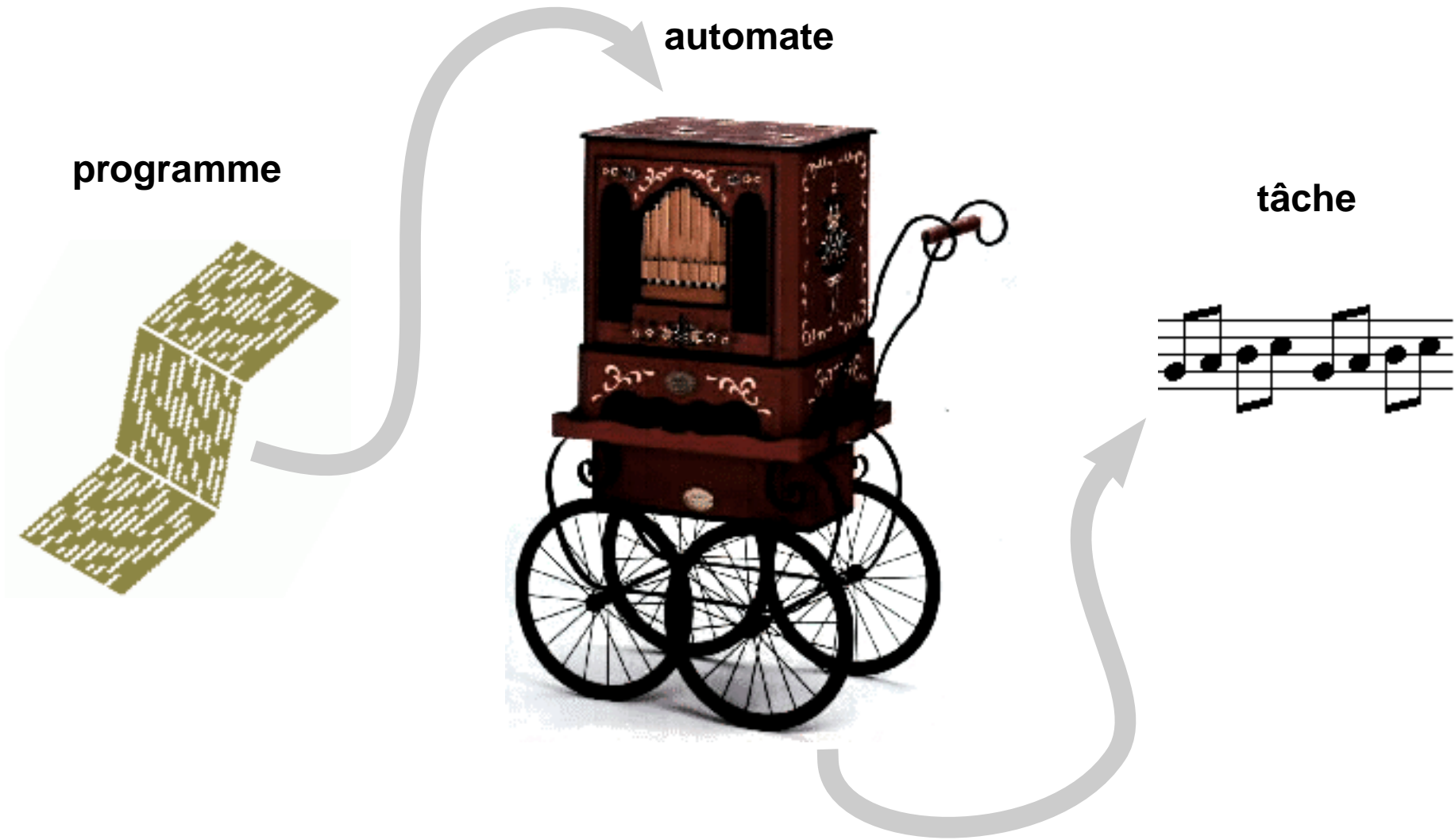
la montre, le réveil-matin, le «ramasse-quilles» (du bowling).

➡ L'automate est dit «**programmable**» lorsque l'enchaînement d'opérations effectuées peut être modifié à volonté, pour permettre un changement de la tâche à réaliser, ou un changement dans la manière de réaliser cette tâche. Dans ce cas, la **description de la tâche** à accomplir se fait par le biais d'un **programme**, c'est-à-dire une séquence d'instructions et de données susceptibles d'être traitées (i.e. «comprises» et «exécutées») par l'automate.

Comme exemples d'automates programmables, citons:

le métier à tisser Jacquard,
l'orgue de barbarie,
...,
et naturellement l'ordinateur.

Exemple d'automate programmable





Programmer c'est...

En résumé, programmer c'est donc
décomposer la tâche à automatiser sous la forme
d'une **séquence d'instructions et de données**
adaptées à l'automate utilisé.

Dès lors, voyons quelles sont ces
instructions et données «adaptées»,
dans le cas où l'automate programmable est
un ordinateur.



Instructions et langage machine

Nous l'avons vu, un ordinateur est, en schématisant à l'extrême, constitué:

- d'un [**micro**]processeur, capable d'exécuter (réaliser) un jeu donné d'opérations élémentaires.
- d'une **mémoire centrale**, dans laquelle sont stockées les données en cours de traitement, ainsi que le programme lui-même;
- de bus, ports d'entrées-sorties et périphériques;

Le **jeu d'instructions** (~ langage) que l'ordinateur est capable de traiter est donc tout naturellement déterminé par le processeur.

- ☞ Les instructions comprises par un processeur sont appelées les *instructions machine* de ce processeur.
- ☞ Le langage de programmation qui utilise ces instructions est appelé le *langage machine*.



Langage machine: format interne

⇒ Pour que les opérations et les données manipulées soient compréhensibles par le processeur, elles doivent être exprimées dans le seul format qu'il peut prendre en compte:

le *format interne*,

qui est [presque¹] toujours un *format binaire*.

⇒ Ce format n'utilise que deux *symboles élémentaires* (généralement «0» et «1») appelés «*bits*»².

⇒ Mettre en correspondance la représentation externe des opérations et des données avec leur représentation sous la forme d'une séquence de bits s'appelle le **codage**.

⇒ Le codage permet donc à l'ordinateur de manipuler des données de nature et de type divers sous la forme d'une représentation unique.

1. Il y eut quelques tentatives pour construire des machines supportant d'autres formats, en particulier en URSS le format ternaire. Si au niveau électrique il y a un intérêt certain à disposer ainsi de trois états (actif, inactif, neutre), cela ne concerne pas le niveau logique. L'avantage de la représentation binaire est qu'elle est techniquement facile à réaliser (au moyen de bistables), que les opérations fondamentales sont relativement simples à effectuer sous forme de circuits logiques et que de plus, comme l'a démontré Shannon, tous les calculs logiques et arithmétiques peuvent être réalisés à partir de l'arithmétique binaire.

2. Contraction de l'expression anglaise «binary digit».



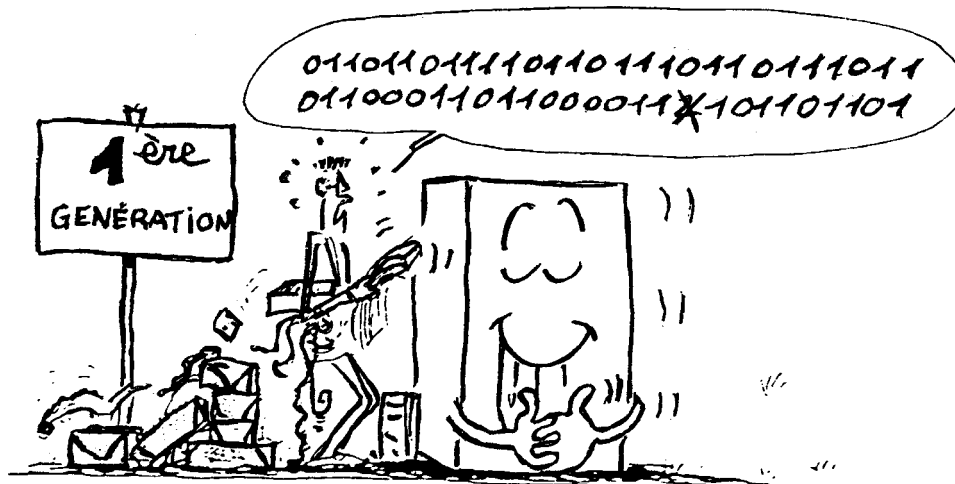
Les générations de langage

Au cours du temps, différents types de langages de programmation firent leur apparition, et furent regroupés [entre autres] en **générations**

Bien qu'il s'agisse d'une classification différente de celle des machines, les générations de langages sont, du moins pour les premières, liées sur le plan chronologique aux générations de machines, et aux performances de leurs composants



Au début était le langage [de la] **machine**.



Dans le cas des ordinateurs de premières générations, la mémoire n'est pas encore utilisée pour le stockage du programme.

Celui-ci est placé sur des cartes et/ou rubans perforés, voir même totalement **volatile**,¹ i.e. entré à la main à l'aide de panneaux de commutateurs.

On l'imagine facilement, la production des programmes était fastidieuse, et leur relecture et modification presque impossible.

Par ailleurs, les programmes écrits pour une machine ne pouvaient pas être exécutés sur une autre.

⇒ Remarquons que la technique des cartes ou rubans perforés a perduré jusqu'à nos jours (dans des secteurs très ciblés): c'est un moyen de stockage de l'information passablement souple, qui offre surtout une très **grande fiabilité en milieu hostile**.

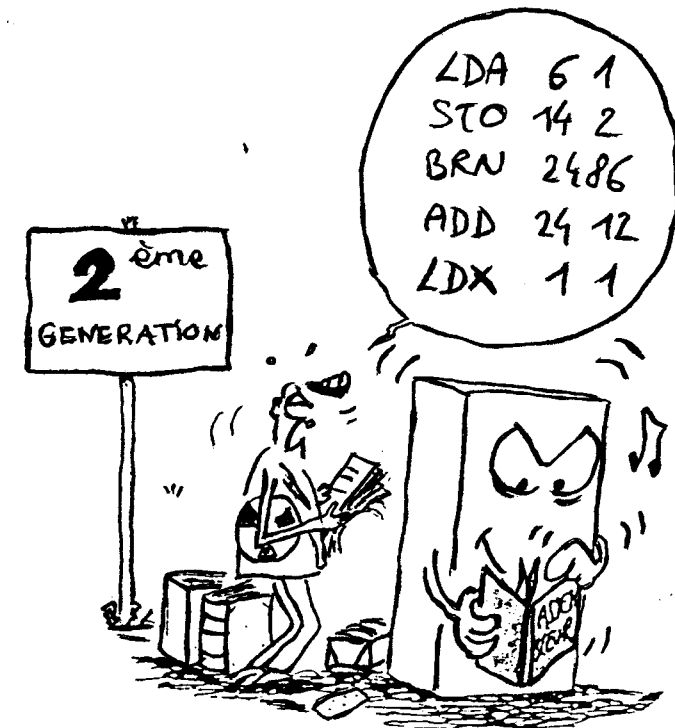
1. Notamment en ce qui concerne l'amorçage du système, et la connexion/prise en charge du système de lecture de cartes.



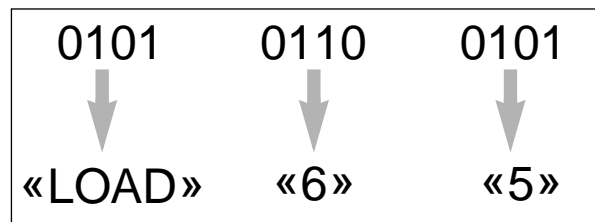
Puis vint le **langage d'assemblage**.

Afin de rendre les programmes plus faciles à écrire et à corriger, on a rapidement songé à remplacer les séquences de bits par des symboles, les instructions machines étant codées par des *mnémoniques* et les données par les caractères alphanumériques associés.

Le nouveau langage ainsi produit s'appelle un **langage d'assemblage**, ou **langage assembleur**.



Exemple

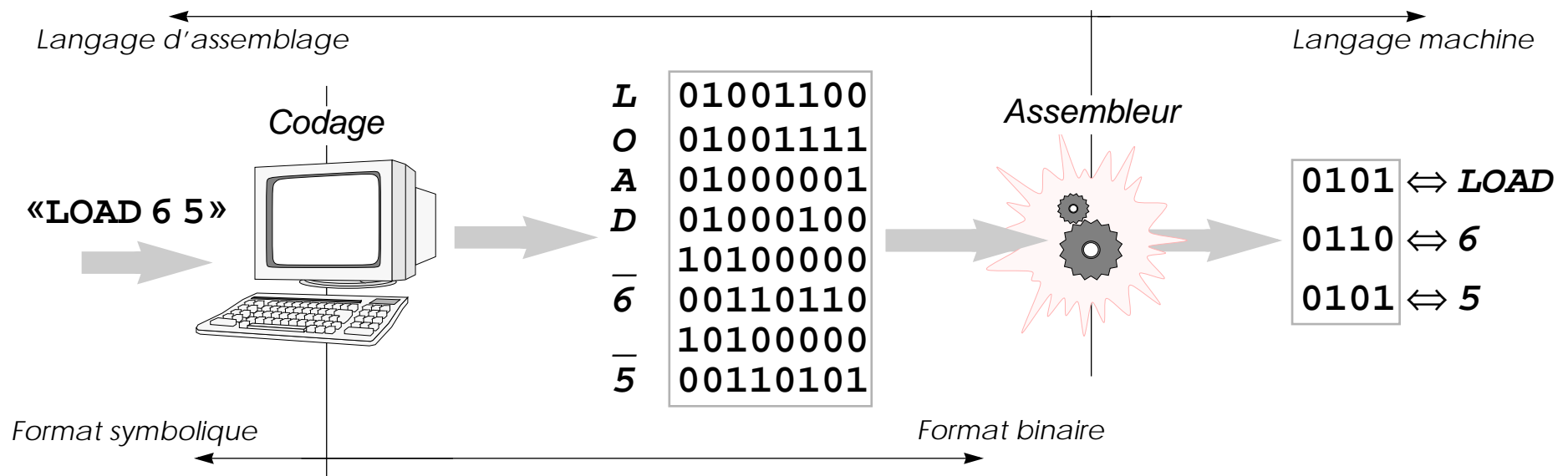




→ L'apparition de périphériques de saisie (clavier) et de visualisation (écran) permet une écriture – respectivement lecture – plus ergonomique des séquences de 0 et de 1, sous la forme de séquences alphanumériques.

→ Avec l'idée de *Von Neumann* d'enregistrer dans la mémoire le programme à exécuter ainsi que ses données, il devient également envisageable de faire subir à ce programme des traitements avant son exécution (prétraitements).

⇒ La représentation en mémoire du programme en langage d'assemblage devient ainsi elle-même une donnée, pouvant être traitée par un programme spécifique nommé «assembleur», dont le rôle est sa traduction en langage machine.





Exemple de langage d'assemblage (1)

Exemple de langage d'assemblage: (*machine à mots de 4 bits et alignement sur 12*)

Mnémonique	Code	Syntaxe	Définition
NOP	0000	NOP	Opération neutre (ne fait rien)
CMP	0001	CMP [<i>adresse</i>] [<i>valeur</i>]	Compare la valeur stockée à l'adresse [<i>adresse</i>] avec la valeur [<i>valeur</i>]. L'exécution se poursuit à l'adresse courante + 1 en cas d'égalité, + 2 sinon.
DECR	0011	DECR [<i>adresse</i>]	Décrémente de 1 la valeur stockée en [<i>adresse</i>]
JUMP	0100	JUMP [<i>saut</i>]	L'exécution se poursuit à l'adresse courante + [<i>saut</i>]
LOAD	0101	LOAD [<i>adresse</i>] [<i>valeur</i>]	Charge la valeur [<i>valeur</i>] à l'adresse [<i>adresse</i>]
END	1111	END	Fin d'exécution

Codage des données: (*codage sur 4 bits, en complément à 2*)

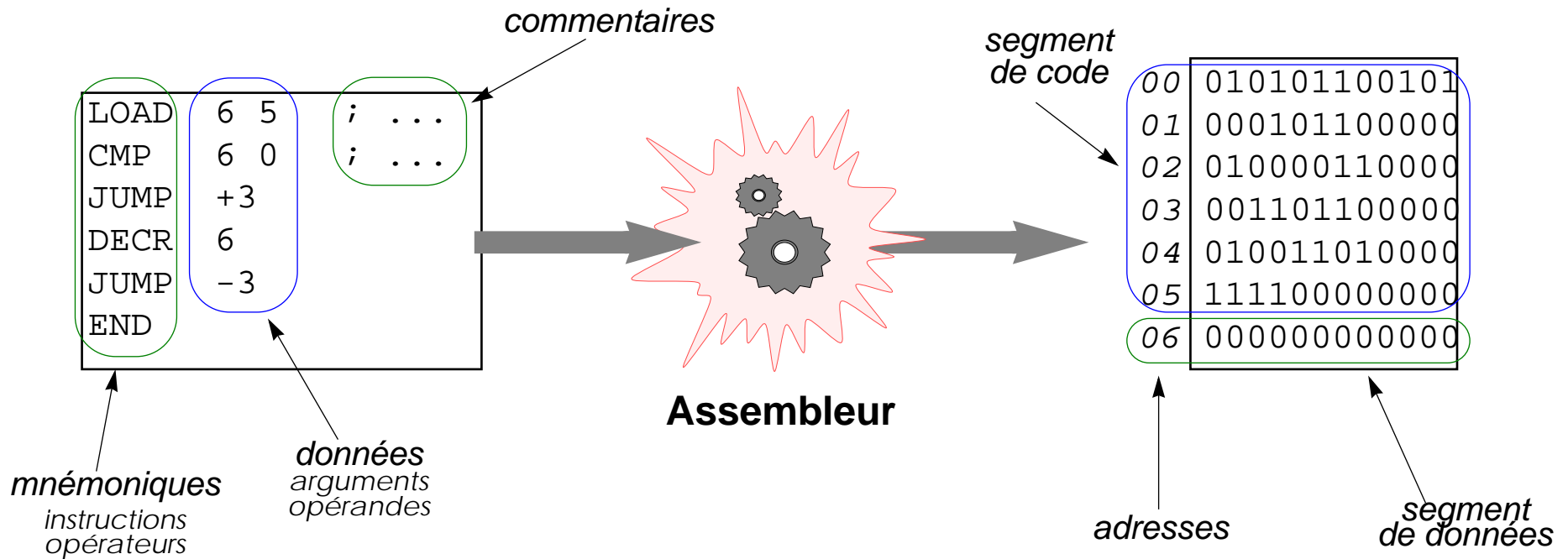
Données	Code machine
-3	1101
0	0000
2	0010
3	0011
5	0101
6	0110



Exemple de langage d'assemblage (2)

Programme
(langage assembleur)

Programme
(langage machine)



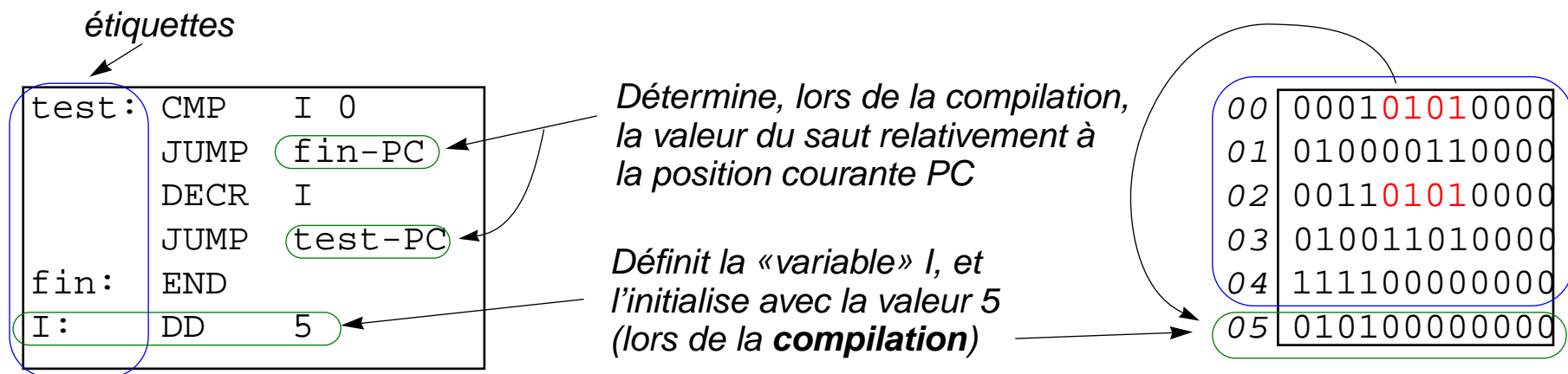


Exemple de langage d'assemblage (3)

Un langage d'assemblage tel que celui décrit précédemment est appelé **langage d'assemblage pur**, c'est à dire qu'il y a biunivocité entre les instructions machine et les mnémoniques (le code source en langage d'assemblage comportent le même nombre d'éléments (d'instructions) que le code machine résultant).

Les tout premiers assembleurs étaient *purs*, mais cette «propriété» disparut rapidement, avec l'apparition des langages offrant des *macros-commandes* (pour définir une seule fois des portions de codes fréquentes) ainsi que des *pseudo-instructions* (réservation & initialisation de mémoire, chargement de modules séparés,...).

La traduction effectuée par les assembleurs correspondants a permis de rendre le code **portable** (i.e. réutilisable, moyennant son assemblage, sur une autre machine), en masquant la couche matérielle (**abstraction de la machine**).





Dans la lancée apparaissent les **langages évolués**.



Le but est de fournir au programmeur la possibilité d'utiliser des **instructions** et des **structures de données de plus haut niveau**, afin de rendre plus facile l'écriture des programmes et d'améliorer la productivité.

⇒ Ces langages sont plus accessibles, plus proches de notre manière de **penser et de conceptualiser les problèmes**.

Les langages évolués sont nombreux, et il ne cesse d'en apparaître de nouveaux. Citons à titre d'exemple: BASIC, Fortran, Cobol, C, Pascal, Modula-2, Ada, OccamII, Portal, ...

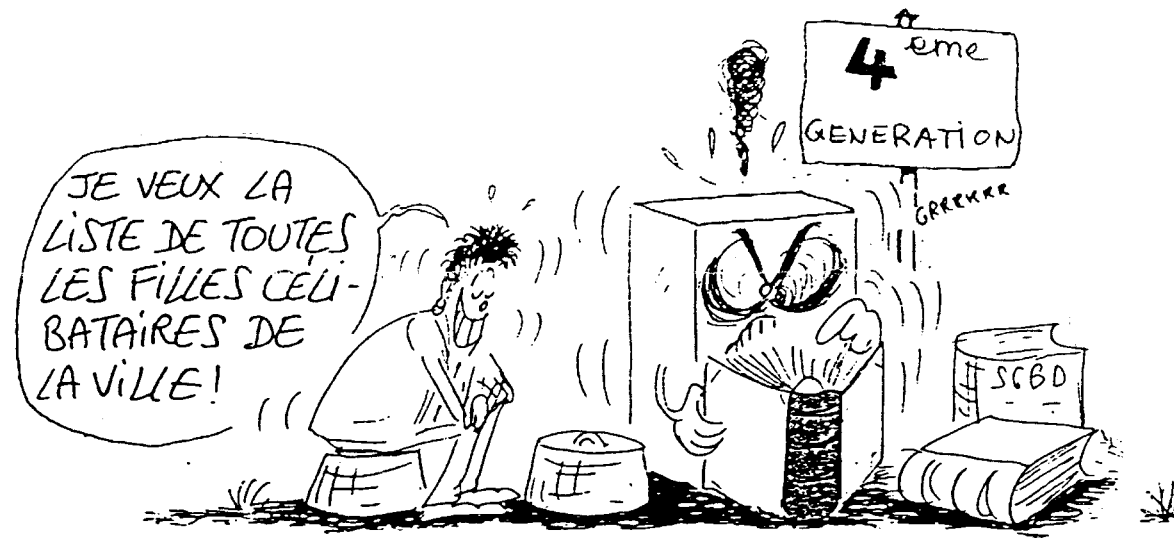


Exemples de langage de programmation de haut niveau:

<i>«Vieux» BASIC</i>	<i>ANSI C</i>
1 REM Ceci est un commentaire	/* Ceci est un commentaire */
4 LET N = 5	int n = 5;
5 IF (N = 0) THEN GOTO 10	while (n != 0) do --n;
6 ELSE LET N = N-1	
7 GOTO 5	
10 END	



Parallèlement aux langages évolués, des langages encore **plus spécialisés**, voir des **méta-langages**, ont fait leur apparition.



On peut par exemple citer les langages d'intelligence artificielle (Lisp, Prolog), les langages objets (Smalltalk, Eiffel), certains langages de gestion (L4G), ...



Langage de programmation (1)

Cependant, si nous utilisons des intructions sophistiquées, comment les rendre compréhensible pour l'ordinateur qui doit les exécuter ?

➡ Nous l'avons vu, une solution est de disposer d'un programme capable de **transformer** une séquence d'instructions de haut niveau (aussi appelée **code source**) en une séquence d'instructions machine (aussi appelée **code objet**¹ ou **binaire**).

Les programmes qui convertissent un programme quelconque écrit dans un langage source en un programme écrit dans un langage cible sont appelés *traducteurs*.

Selon ses caractéristiques, un programme *traducteur* est appelé un *assembleur*, un *compilateur*² ou un *interpréteur*; l'ensemble des instructions et données de plus haut niveau que le traducteur est capable de traiter constitue un **langage de programmation**.

1. Ce qui n'a rien à voir avec la Programmation [Orientée] Objet !

2. Equivalent d'un assembleur, mais fonctionnant avec un langage source évolué (non assembleur).



Langage de programmation (2)

Un **langage de programmation** est donc un moyen formel permettant de décrire des traitements (i.e. des tâches à effectuer) sous la forme de programmes (i.e. de séquences d'instructions et de données de haut niveau, c'est-à-dire compréhensibles par le programmeur) et pour lequel il existe un traducteur permettant l'exécution effective des programmes par un ordinateur.

Les aspects syntaxiques (règles d'écriture des programmes) et sémantiques (définition des instructions) d'un langage de programmation doivent être spécifiés de manière précise, généralement dans un manuel de référence.



Interpréteur v.s. Compilateur (1)

Il est important de bien comprendre la différence entre traduction effectuée par un assembleur ou un compilateur et celle réalisée un interpréteur.

- ⇒ Les **compilateurs** et **assembleurs** *traduisent* tous deux les programmes *dans leur ensemble*: tout le programme doit être fourni au compilateur pour la traduction. Une fois cette traduction effectuée, son résultat (code objet) peut être soumis au processeur pour traitement.

Un langage de programmation pour lequel un compilateur est disponible est appelé un **langage compilé**.

- ⇒ Les **interpréteurs** *traduisent* les programmes *instruction par instruction*, et soumettent immédiatement chaque instruction traduite au processeur, pour exécution.

Un langage de programmation pour lequel un interpréteur est disponible est appelé un **langage interprété**.

Remarquons que pour certains langages (par exemple Lisp), il existe à la fois des compilateurs et des interpréteurs.



Interpréteur v.s. Compilateur (2)

Naturellement, chacune de ces techniques possède des avantages et des inconvénients, qui la rend plus ou moins adaptée suivant le contexte:

- ➔ De manière générale, on peut dire que les langages interprétés sont bien adaptés pour le **développement rapide et le prototypage**:
- le cycle de test est plus court qu'avec les langages compilés,
 - il est souvent possible de modifier/rectifier le programme en cours d'exécution (test),
 - et ces langages offrent généralement une **plus grande liberté d'écriture**.



Interpréteur v.s. Compilateur (3)

➡ A l'inverse, les langages compilés sont à utiliser de préférence pour les **réalisations opérationnelles**, ou les **programmes de grande envergure**:

- Les programmes obtenus sont **plus efficaces**:
 - d'une part, le compilateur peut effectuer des optimisations plus facilement que l'interpréteur, puisqu'il possède une visibilité globale sur le programme,
 - et d'autre part, l'effort de traduction n'est fait qu'une seule fois, qui plus est en prétraitement.
- Par ailleurs, la visibilité globale offerte au compilateur, allié à une structuration plus rigoureuse et un typage plus ou moins contraint, permet une **meilleure détection des erreurs**, lors de la compilation.



Remarquons finalement que la compilation permet la diffusion du programme sous sa forme opérationnelle, sans imposer pour autant sa diffusion sous forme conceptuelle (lisible et compréhensible par un humain)



Variété des applications

L'utilisation de l'informatique dans les 3 types d'applications – calcul scientifique, gestion d'informations et commande de processus – a conduit à la production d'une grande diversité de programmes:

- **Petits utilitaires**, «drivers» (bibliothèque de fonctions permettant de piloter un matériel), et autres mini-programmes.
→ Effort: ~ 1 à 2 *personnes* × *mois*, de ~1000 à 10'000 lignes de code (source), équipes d'une à deux personnes.
- **Petits logiciels** («maileur», gestionnaire de fichiers, agenda électronique, ...)
→ Effort: ~ 3 à 12 *personnes* × *mois*, de 1'000 à 50'000 lignes, petites équipes de développement (1 à 5 personnes).
- **Progiciels**, logiciels complets (traitement de textes, commande de central téléphonique,...)
→ Effort: ~ 1 à 10 *personnes* × *ans*, de 10'000 à 1'000'000 lignes, équipes de développement moyennes (de 5 à 20 personnes)
- **Gros systèmes** (aéronautique, systèmes d'exploitation, systèmes experts, ...)
→ Effort: ~ plus de 100 *personnes* × *ans*, plusieurs centaines de millions de lignes de code, grosses équipes de développement (plusieurs milliers de personnes).



Développé dans les laboratoires d'*AT&T Bell* au début des années 1980 par *Bjarne Stroustrup*, le langage C++ est un langage:

- ⇒ à *typage fort*,
- ⇒ *compilé* (impératif),
- ⇒ *et orienté objet* (POO¹).

Schématiquement:

C++ = C + typage fort + objets (classes)

<i>Avantages</i>	<i>Défauts</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Programmes exempts de bogues «syntaxiques», et [un peu] plus robuste, grâce au typage fort • Applications efficaces grâce à la compilation • Compilateur disponible sur pratiquement toutes les plate-formes et documentation abondante, grâce à sa large diffusion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Effets indésirables et comportement peu intuitif, conséquence de la production automatique de code • Syntaxe parfois lourde et peu naturelle • Le langage ne définit pas de techniques de récupération automatique de mémoire (<i>garbage collector</i>), de multiprogrammation ou de programmation distribuée.

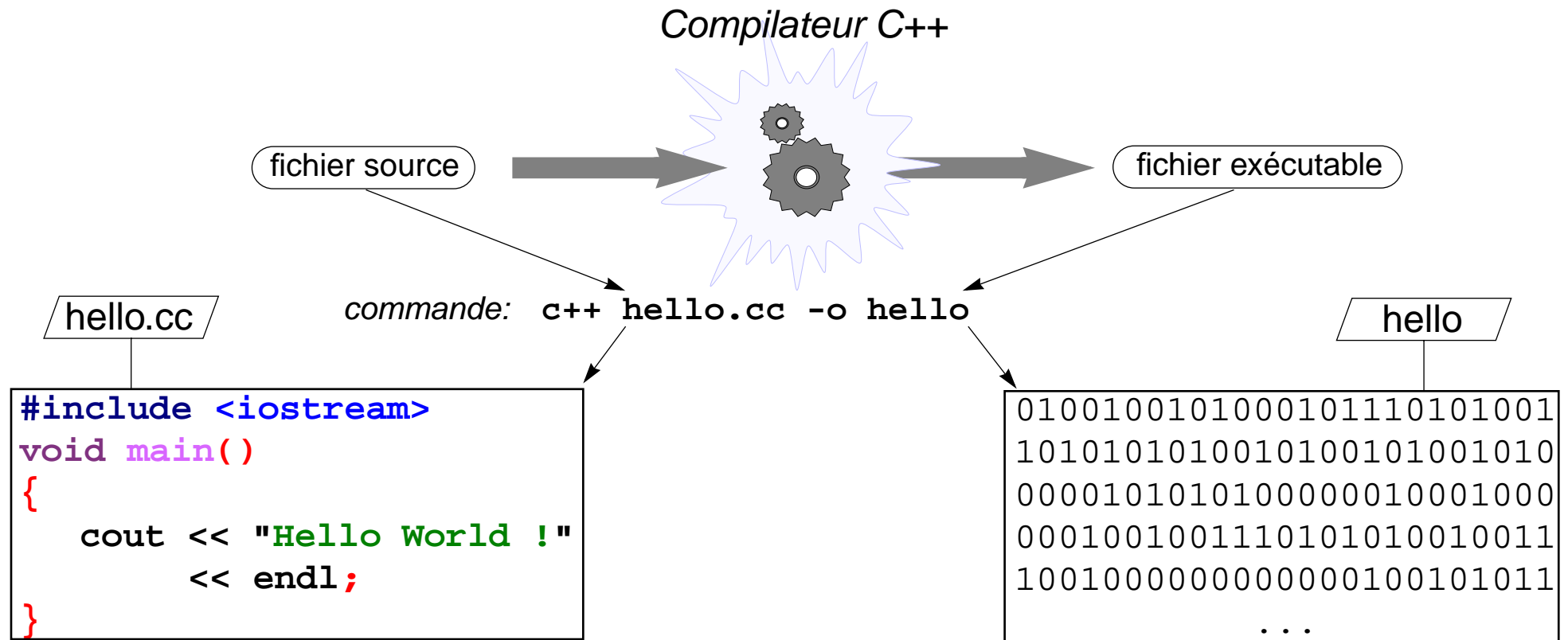
1. Acronyme de *Programmation Orientée Objet*. Remarquons toutefois que C++ n'est pas purement objet (comme le sont par exemple *Eiffel* ou *Smalltalk*) mais est un langage hybride: on peut très bien programmer en C++ sans pour autant programmer par objets, c'est d'ailleurs ce qui sera fait pendant tout le premier semestre de ce cours.



Compilation en C++

➔ Pour pouvoir être compilé en une séquence binaire exécutable, le code source doit fournir au compilateur un «*point d'entrée*».

Par convention, ce point d'entrée est en C++ une fonction intitulée **main**:



Structure générale d'un programme C++ (1)



Le programme C++ le plus simple,
... et le plus inutile (puisqu'il ne «fait rien») est:

```
void main ()
{
}
```

Ce programme va progressivement être enrichi... et en particulier, on peut y ajouter des commentaires, qui en C++ peuvent revêtir 2 formes différentes:

- **COMMENTAIRES ORIENTÉS LIGNE:** *de la forme « // ... »*

```
// Exemple de commentaires orienté ligne,  
// c'est-à-dire commentaire délimité à gauche ('//')  
// seulement (implicitement délimité à droite par  
// le caractère de fin de ligne)
```

Structure générale d'un programme C++ (2)



- **COMMENTAIRES ORIENTÉS BLOC:** de la forme « /* ... */ »

```
/* Exemple de commentaire orienté bloc,  
c'est-à-dire commentaire délimité à gauche ET à  
droite (le commentaire peut s'étendre sur plusieurs  
lignes) */
```

Une version commentée du programme précédent pourrait donc être:

```
// Exemple de petit programme C++ ne faisant rien  
// (Le formattage n'est bien sur là  
// que pour faciliter la lecture)  
void main ()  
{  
    /*  
        corps du programme  
        (à définir par la suite)  
    */  
}
```



Données et traitements

Comme dans tout langage de programmation évolué,
C++ offre la possibilité de

- ⇒ définir des **données** (aspect statique du langage), et
- ⇒ mettre en œuvre des **traitements** (aspect dynamique).

☞ L'aspect orienté objet de C++ va ensuite permettre d'intégrer données et traitements dans une structure unique, les **objets**.
Cet aspect du langage sera développé au cours du second semestre.





Exemple de programme C++ (1)

On veut réaliser un programme qui résout une équation du second degré:

$$x^2 + bx + c = 0$$

Pour b et c fixés, les solutions réelles d'une telle équation sont:

$$\left(\begin{array}{ll} \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2} & \text{si } \Delta > 0 \\ \frac{-b}{2} & \text{si } \Delta = 0 \\ \emptyset & \text{sinon} \end{array} \right.$$

$$\text{avec } \Delta = b^2 - 4c$$

Exemple de programme C++ (2)



```
#include <cmath>
#include <iostream>
```

données

traitements

structures de contrôle

```
void main()
{
    float b(0.0);
    float c(0.0);
    float delta(0.0);
    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0){
        cout << "Pas de solutions réelles !" << endl;
    }
    else if (delta == 0.0) {
        cout << "Une solution unique: " << -b/2.0 << endl;
    }
    else {
        cout << "Deux solutions: [" << (-b-sqrt(delta))/2.0
            << ", " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << ']' << endl;
    }
}
```



```
#include <cmath>
#include <iostream>

void main()
{
    float b(0.0);
    float c(0.0);
    float delta(0.0);
    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0){
        cout << "Pas de solutions réelles !" << endl;
    }
    else if (delta == 0.0) {
        cout << "Une solution unique: " << -b/2.0 << endl;
    }
    else {
        cout << "Deux solutions: [" << (-b-sqrt(delta))/2.0
            << ", " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << ']' << endl;
    }
}
```



Variables: définition

Pour pouvoir être utilisée dans un programme C++, une donnée doit être associée à une *variable*, c'est-à-dire un élément informatique qui sera manipulé par le programme. Une variable est décrite à l'aide de 3 caractéristiques:

⇒ Sa **valeur littérale**:

qui permet de définir sa *valeur*. Par exemple, si la donnée est un nombre, sa valeur littérale pourra être (selon les conventions de représentation):
123, -18, 3.1415, 2e-13, , 0x3A5, ...

⇒ Son **identificateur**:

qui est le *nom* par lequel la donnée est désignée dans le programme.

⇒ Son **type**:

qui correspond à une *classification* de la données, par exemple en fonction des opérations qui peuvent lui être appliquées; cette caractéristique sera développée plus en détails dans la suite du cours, et généralisée en la notion de classe.



Déclaration et initialisation de variables

Dans les langages fortement typés comme C++, la création d'une variable se fait à l'aide d'une *déclaration*, et l'association effective d'une valeur à la variable créée se fait à l'aide d'une *initialisation*.

- ☞ Les *déclarations* doivent obligatoirement être faites **avant** toute utilisation de la variable;
- ☞ les *initialisations* doivent impérativement être faites **avant** toute utilisation de la variable².

En C++, la syntaxe de la déclaration d'une variable est:

```
<type> <identificateur> ;
```

Où *type* est l'identificateur du **type** de la variable déclarée, et *identificateur* est l'identificateur de la variable.

Exemple:

```
int i;
float exemple_de_variable
```

2. Le compilateur n'interdit pas l'utilisation d'une variable non initialisée, mais il exclut l'utilisation de variables non déclarées.



Déclaration

Les principaux *types élémentaires* définis en C++ sont:

bool : les valeurs logiques «vraie» (true) et «fausse» (false)

int : les nombres entiers

float : les nombres réels

char : les caractères (alphanumériques)

Un identificateur de variable ou de constante peut être n'importe quelle séquence³ composée de lettres, de chiffres ou du caractère souligné («_»), et débutant par une lettre ou le caractère souligné.

Exemple:

```
x  
b3  
TailleMax  
nb_etudiants
```

3. Remarquons toutefois qu'il existe certaines séquences «interdites», correspondant à des *mots réservés* du langage.



- Valeurs littérales de type entier: 1, 12, ...
- Valeurs littérales de type réel: 0.0, 1.23, ...
Remarquons que:
0.123 peut aussi s'écrire .123
12.3e4 correspond à $12.3 \cdot 10^4$ (soit 1230000)
12.e-4 correspond à $12.3 \cdot 10^{-4}$ (soit 0.00123)
- Valeurs littérales de type caractères: 'a', '!', ...
Remarques:
le caractère «'» est représenté par '\'
le caractère «\» est représenté par '\\'

Remarque:

la valeur littérale 0 est une valeur d'initialisation qui peut être affectée à une variable de n'importe quel type élémentaire.

4. Le caractère *backslash* «\» est ainsi appelé un caractère *d'échappement*.



Déclarations et initialisation

Il est possible, en C++, d'affecter une valeur à une variable au moment de sa déclaration.

La syntaxe de la **déclaration-initialisation** est:

```
<type> <identificateur>(<valeur>);
```

Où *valeur* est n'importe quel **littéral** ou **expression**⁵ du type indiqué.

Exemple:

```
int i(2);  
float exemple_de_variable(3.1415);  
char c('a');  
int j(i);  
float x(2.0*exemple_de_variable);
```

5. La notion d'expression sera définie en détail dans la suite du cours.



Variables v.s. constantes

En C++, la nature **modifiable** (variable) ou **non modifiable** (constante) d'une donnée peut être définie lors de la déclaration-initialisation, au moyen du mot réservé `const`

Exemple: `const int j(2);`

La constante `j` de type entier est déclarée, et initialisée à la valeur 2. Cette valeur *ne pourra plus être modifiée par le programme*, plus exactement toute tentative de modification sera rejetée par le compilateur, qui signalera une erreur.



Déclaration et initialisation de variables

En résumé, en C++ une donnée est donc un élément informatique caractérisé par:

- ⇒ son **type**
 - ⇒ son **identificateur**
 - ⇒ sa **valeur**
- } définis lors de la **déclaration**
- définie lors de l'**initialisation**

Exemple: `int i(3);`

déclare une donnée de type entier, d'identificateur `i`
et l'initialise à la valeur `3`



Premiers exemples de traitements

```
#include <cmath>
#include <iostream>

void main()
{
    float b(0.0);
    float c(0.0);
    float delta(0.0);
    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0){
        cout << "Pas de solutions réelles !" << endl;
    }
    else if (delta == 0.0) {
        cout << "Une solution unique: " << -b/2.0 << endl;
    }
    else {
        cout << "Deux solutions: [" << (-b-sqrt(delta))/2.0
        << ", " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << ']' << endl;
    }
}
```



Une instruction simple: l'affectation

➔ L'instruction d'**affectation** consiste à **attribuer** (*affecter*)
une **valeur** à une **variable**.

En C++, la syntaxe d'une affectation est:

```
<identificateur> = <valeur> ;
```

où *valeur* est une valeur **littéral** ou une **expression** de même type que la variable
référéncée par *identificateur*.

Exemple:

```
i = 3;
```



Interagir avec l'extérieur: entrées/sorties

Les **instructions d'entrées/sorties** (E/S) permettent les interactions du programme avec son environnement (extérieur).

Les mécanismes d'E/S doivent en particulier donner au programmeur la possibilité:



De prendre en compte, au sein du programme, des données issues de l'extérieur, comme des informations saisies au clavier ou lues dans des fichiers.

⇒ requiert des fonctions spécifiques, appelées **fonctions d'entrées**, permettant d'associer des informations externes aux variables définies dans le programme.



D'afficher des données à l'écran

⇒ requiert des fonctions spécifiques, appelées **fonctions de sorties**, permettant de visualiser des valeurs, en spécifiant éventuellement un format d'affichage.



De sauvegarder les résultats produits pour d'éventuelles réutilisations.

⇒ requiert des fonctions spécifiques, appelées **fonctions de lecture/écriture**, permettant de stocker les données produites par les programmes dans des *fichiers*, et de récupérer ces données par la suite (notion de *persistance* des données).



Instructions d'entrées/sorties (1)

Instructions élémentaires pour l'affichage à l'écran:

```
cout << <expression1> << <expression2> << ... << <expressionn>;
```

affiche à l'écran⁶ les valeurs des expressions <expression_i>.



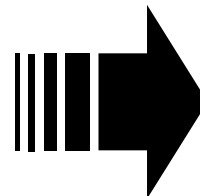
Les chaînes de caractères doivent être indiquées entre guillemets anglais «"», tandis que les caractères simples sont eux indiqués entre apostrophes «'».



Les valeurs affichées ne sont, pas délimitées par défaut (pas d'espaces séparateurs). Les délimiteurs sont donc à indiquer explicitement, par exemple par ' ' ou " ".

Exemple

```
int a(1);
cout << '[' << -a << ", "
     << a << ']' << end;
```



[-1, 1]



6. En réalité sur la *sortie standard* (c.f. plus tard dans le cours).



Instructions d'entrées/sorties (2)

Exemple d'utilisation de cout:

Avec l'initialisation:

```
int i(2);  
float x(3.14);
```

l'instruction:

```
cout << "=> " << 2*i+5 << ", " << x << endl;
```

produira à l'écran l'affichage suivant: => 9, 3.14



Le manipulateur endl représente le *retour de ligne*.
Il permet donc de «passer à la ligne» suivante lors de l'affichage.



Instructions élémentaires pour la lecture au clavier:

```
cin << <var1> << <var2> << ... << <varn> ;
```

permet à l'utilisateur de saisir au clavier⁷ une liste de valeurs $val_1, val_2, \dots, val_n$ qui seront stockées dans les variables $\langle var_i \rangle$.

Exemple

Avec l'initialisation:

```
int i;  
double x;
```

l'instruction:

```
cin >> i >> x;
```

permettra de lire au clavier un entier suivi d'un réel, et affectera l'entier lu à la variable i et le réel à la variable x .



7. En réalité sur l'entrée standard (c.f. plus tard dans le cours).



Exemple de programme:

```
#include <iostream>
void main()
{
    int i;
    double x;
    cout << "Valeurs pour i et x: " << flush;
    cin >> i >> x;
    cout << "=> " << i << ", " << x << endl;
}
```



Pour pouvoir utiliser les instructions d'E/S, il faut inclure, en début de programme, le fichier *header* *iostream*, au moyen de la directive:

```
#include <iostream>
```



Le manipulateur `flush` permet d'assurer l'affichage de la ligne courante, en l'absence de saut de ligne (il ordonne le vidage du tampon d'affichage)



Exemples d'expressions

```
#include <cmath>
#include <iostream>

void main()
{
    float b(0.0);
    float c(0.0);
    float delta(0.0);
    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0){
        cout << "Pas de solutions réelles !" << endl;
    }
    else if (delta == 0.0) {
        cout << "Une solution unique: " << -b/2.0 << endl;
    }
    else {
        cout << "Deux solutions: [" << (-b-sqrt(delta))/2.0
            << ", " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << "]" << endl;
    }
}
```

Opérateurs et expressions (1)



➔ En plus des instructions, tout langage de programmation fournit des **opérateurs** permettant de manipuler les éléments prédéfinis. Les définitions des opérateurs sont souvent étroitement associées au type des éléments sur lesquels ils sont capables d'opérer.

Ainsi, les *opérateurs arithmétiques* (+, -, *, /, ...) sont définis pour les types numériques (entiers et réels par exemple⁸), et les *opérateurs logiques* (!, &&, ||) sont définis eux (en particulier) pour les types booléens.

Les **expressions** sont des séquences bien formées combinant (éventuellement à l'aide de parenthèses) des opérateurs et des arguments (qui peuvent être des valeurs littérales, des variables ou des expressions).

Par exemple: $(2 * (13 - 3) / (1 + 4))$ est une expression numérique bien formée, alors que $)3+)5 * (-2$ ne l'est pas.

8. En fait, et on le verra par la suite, il est également possible de définir les opérateurs arithmétiques pour des types non-élémentaires, comme par exemple les nombres complexes.



Les *opérateurs arithmétiques* sont (dans leur ordre de priorité d'évaluation):

*	multiplication
/	division
%	modulo
+	addition
-	soustraction

▼ Le *modulo* est le reste de la division entière.

▼ Ces opérateurs sont tous *associatifs à gauche*

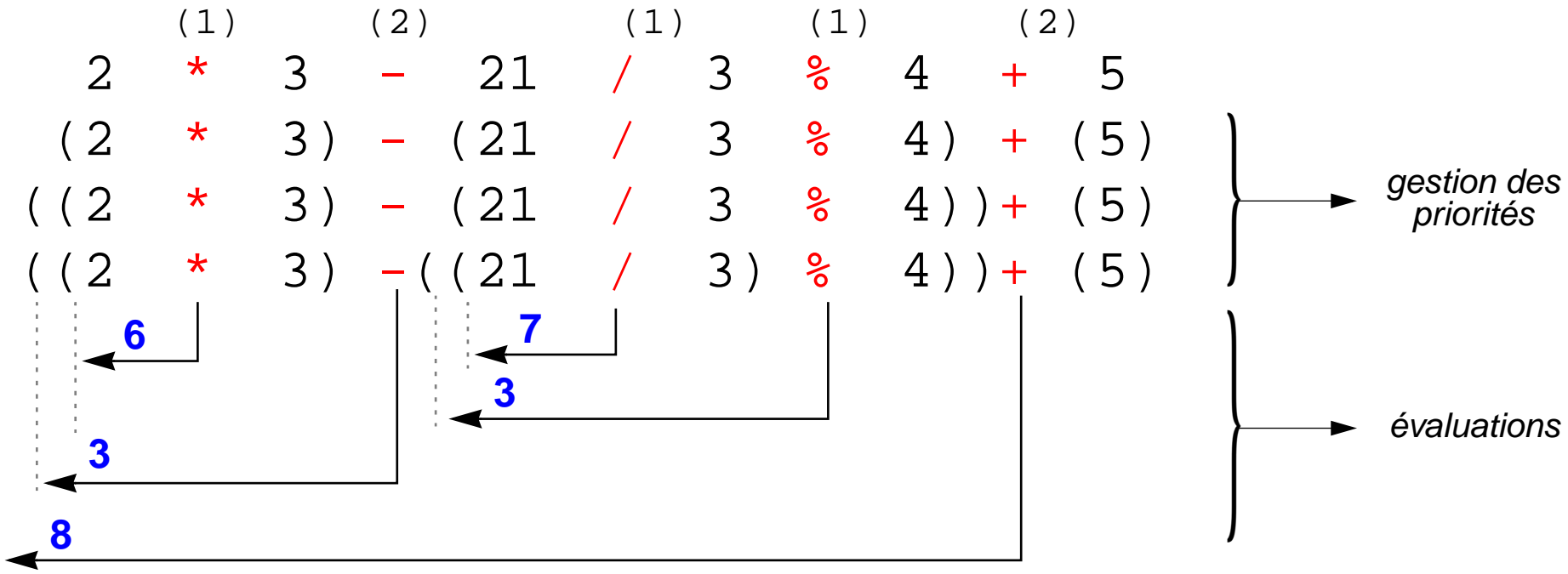
Du fait que les opérateurs ont non seulement une *syntaxe*, mais aussi une *définition opératoire*, une expression peut être **évaluée**, c'est-à-dire associée à la *valeur littérale* correspondant au *résultat* de l'expression.

Ainsi, l'évaluation de l'expression $(2 * (13 - 3) / (1 + 4))$ correspond à la valeur littérale de type entier 4.



Opérateurs et expressions (3)

Fonctionnement de l'ordre de priorité des opérateurs:





Exemple d'utilisation d'expressions pour l'affectation:

- $Z = (x+3) \% y;$
- $Z = (3*x+y)/10;$
- $Z = (x = 3*y)+2;$

Remarque:

C++ (tout comme C) fournit un certain nombre de **notations abrégées** pour des affectations particulières:

<i>Affectation</i>	<i>Notation abrégée</i>
$x = x + y$ idem pour $\{-, *, /, \%$	$x += y$
$x = x + 1$ idem pour $\{-$	$++ x^9$

9. Ou $x++$, la différence entre les deux notations sera expliquée dans les mini-références.



Remarques à propos de l'opérateur de division en C++:

⇒ Si a **et** b sont *entiers*, a/b est le quotient de la division entière de a par b.

Exemple: $5/2 = 2$

et a%b est le reste de cette division.

Exemple: $5 \% 2 = 1$



donc, si a et b sont *entiers*, on a:

$$(a/b) * b + (a \% b) = a$$

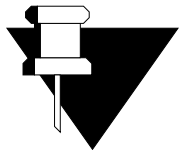
⇒ Si a **et/ou** b est *réel*, a/b est le résultat de la division de a par b.

Exemple: $5.0/2 = 2.5$



Expressions logiques

Au sens strict, une **expression logique** (ou *condition*) est une **expression booléenne** (i.e. de type *booléen*), c'est-à-dire une expression qui peut avoir comme résultat :
soit la valeur «vraie» (`true`) – dans ce cas on dit que la condition est *vérifiée* –
soit la valeur «fausse» (`false`) – et dans ce cas, la condition n'est *pas vérifiée*.



En fait, la définition du langage C++ permet de considérer comme expression logique une expression de n'importe quel type, avec la convention suivante:
si l'évaluation de l'expression est une *valeur nulle*, elle sera considérée comme une condition **fausse**, sinon elle sera considérée comme une condition **vraie**.

Les valeurs nulles sont¹⁰:

- les zéros numériques: 0 et 0 .
- la valeur booléenne `false`

Exemples d'expressions simples:

- `true`, 1, (2+2)
sont des expressions évaluées comme *vraies*.
- `false`, (16%2), 0.0
sont des expressions évaluées comme *fausses*.

10. Il existe une valeur nulle supplémentaire: la valeur *void*; nous la verrons plus tard dans le cours, lorsque nous aborderons la notion de pointeurs.



Opérateurs de comparaison

Des conditions logiques plus complexes peuvent être construites, à l'aide d'opérateurs spécifiques: les **opérateurs de comparaison** et les **opérateurs logiques**.

Les **opérateurs de comparaisons** (également appelés *opérateurs relationnels*) sont (dans leur ordre de priorité d'évaluation): .

Opérateur	Opération
<	strictement inférieur
<=	inférieur ou égal
>	strictement supérieur
>=	supérieur ou égal
==	égalité
!=	différence (non-égalité)

Exemples de conditions correspondants à des expressions relationnelles:

```
(x >= y)
(x+y == 4)
((x > y) == (y > z))
```



Opérateurs logiques (1)

Les **opérateurs logiques** permettent de combiner plusieurs conditions entre-elles.

Opérateur	Opération
!	NON logique (négation)
&&	ET logique (conjonction)
	OU logique

⚠ Toujours selon leur ordre de priorité d'évaluation.

Exemples de conditions complexes:

- `((z != 0) && (2*(x-y)/z < 3))`
- ≡ • `((z) && (2*(x-y)/z < 3))`
- `((x >= 0) || ((x*y > 0) && !(y*z > 0)))`

≡
indique 2 conditions logiquement équivalentes



Opérateurs logiques (2)

Les opérateurs logiques ET, OU et NON sont définis par les tables de vérités usuelles:

<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>non X</i>	<i>x ET y</i>	<i>x OU y</i>
v	v	f	v	v
v	f	f	f	v
f	v	v	f	v
f	f	v	f	f



Evaluation paresseuse (1)

☞ Les opérateurs logiques `&&` et `||` effectuent une **évaluation paresseuse** (*lazy evaluation*) de leur arguments:

⇒ l'évaluation des arguments se fait de la **gauche vers la droite**, et ne sont évalués que les arguments **strictement nécessaires** à la détermination de la valeur logique de l'expression.

Plus précisément:

- dans l'expression conditionnelle: $(X_1 \ \&\& \ X_2 \ \&\& \ \dots \ \&\& \ X_n)$,
l'argument X_i n'est évalué que si les arguments X_j ($j < i$) sont tous *vrais*:
l'évaluation se termine au **premier X_j faux** rencontré, auquel cas l'expression toute entière est *fausse* (si un tel X_j n'existe pas, l'expression est naturellement *vraie*)
- dans l'expression conditionnelle: $(X_1 \ || \ X_2 \ || \ \dots \ || \ X_n)$,
l'argument X_i n'est évalué que si les arguments X_j ($j < i$) sont tous *faux*:
l'évaluation se termine au **premier X_j vrai** rencontré, auquel cas l'expression toute entière est *vraie* (si un tel X_j n'existe pas, l'expression est naturellement *fausse*)



La notion d'évaluation paresseuse est très utile pour construire des expressions logiques dans lesquelles l'évaluabilité de certains arguments peut être conditionnée par les arguments précédents dans l'expression.

Exemple:

```
(x != 0) && 4/x > 3)
```

Si l'évaluation n'était pas paresseuse, la détermination de l'expression conduirait à une erreur lorsque x vaut 0 (division par 0)¹¹

```
(x <= 0 || log(x) == 4)
```

Dans ce cas également, une évaluation complète conduirait à une erreur lors du calcul de $\log(x)$ pour tout x inférieur ou égal à 0.

D'une manière générale, il est toujours bon d'économiser du temps

11. Notez que dans ce cas particulier, on pourrait contourner l'obstacle en testant l'expression équivalente:

```
((x>0) && (4 > 3*x)) || ((x<0) && (4 < 3*x))
```




```
#include <cmath>
#include <iostream>

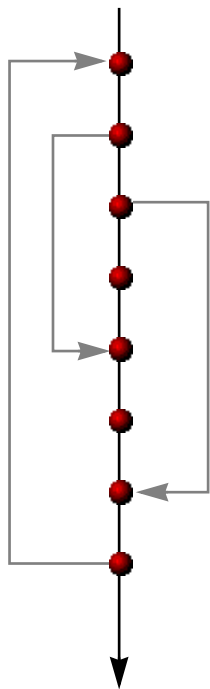
void main()
{
    float b(0.0);
    float c(0.0);
    float delta(0.0);
    cin >> b >> c;
    delta = b*b - 4*c;
    if (delta < 0.0){
        cout << "Pas de solutions réelles !" << endl;
    }
    else if (delta == 0.0) {
        cout << "Une solution unique: " << -b/2.0 << endl;
    }
    else {
        cout << "Deux solutions: [" << (-b-sqrt(delta))/2.0
            << ", " << (-b+sqrt(delta))/2.0 << ']' << endl;
    }
}
```

Structures de contrôle (2)



☞ Une *structure de contrôle* sert à modifier l'ordre linéaire normal d'exécution (i.e. le *flux d'exécution*) des instructions d'un programme.

Les principales **structures de contrôle** sont:



- Le *branchement* conditionnel: `if`
- La *sélection* à choix multiples: `switch`
- La *boucle*: `while`
- L'*itération*: `for`

Toutes ces structures vont de plus utiliser la notion [importante] de *bloc d'instructions*.



Pour pouvoir être utilisée, les instructions d'un programmes C++ doivent être regroupées en entités¹ appelées **séquences d'instructions** ou **blocs**.

Ces séquences sont explicitement délimitée par les accolades «{» et «}»:

```

{
    int tmp(a); // échange du contenu
    a = b;      // de deux variables
    b = tmp;
}

```



Par convention, on alignera les accolades l'une sous l'autre², et on indentera la séquence d'instructions correspondant au bloc.

-
1. Parfois imbriquées les unes dans les autres
 2. Il existe cependant de nombreux cas où il paraît judicieux de ne se plier à cette convention. Ainsi, dans la suite du cours elle ne sera parfois pas respectée, pour des raisons de présentation (l'espace disponible sur un transparent étant passablement restreint).



Branchement conditionnel: `if` (1)

Le **branchement conditionnel** est une structure de contrôle qui permet la *mise en œuvre de traitements variables*, défini par des conditions d'applications spécifiques (i.e. le traitement *d'alternatives*).

La syntaxe générale d'un **branchement conditionnel** est:

```
if ( <condition> ) { <instructions1: si condition vérifiée> }
[ else { <instructions2: si condition non-vérifiée> } ]
```



la notation [. . .]
indique une partie optionnelle

L'expression *<condition>* est tout d'abord évaluée.

Si la condition est vérifiée, la séquence d'instructions *<instructions1:...>* est exécutée; sinon, c'est l'éventuelle séquence alternative *<instructions2:...>*, introduite par le mot réservé `else`, qui sera exécutée.

Exemple

```
if ( x != 0 ) { cout << 1/x << endl; }
else { cout << "Erreur! (Infinity)" << endl; }
```

Branchement conditionnel: `if` (2)



Il est également possible d'enchaîner plusieurs conditions:

```

if (<condition 1>)
{
    <instructions 1: si condition 1 vérifiée>
}
else if (<condition 2>)
{
    <instructions 2: si condition 2 vérifiée>
}
...
else if (<condition N>)
{
    <instructions N: si condition N vérifiée>
}
[else
{
    <instructions par défaut>
}]
    
```

- L'expression *<condition 1>* est tout d'abord évaluée; si elle est vérifiée, le bloc *<instructions 1:...>* est exécuté, et les alternatives ne sont pas examinées.
- Sinon (1^{ère} condition non vérifiée), c'est l'expression *<condition 2>* qui est évaluée, et ainsi de suite.
- Si aucune des N conditions n'est vérifiée, et que la partie optionnelle `else` est présente, c'est le bloc *<instructions par défaut>* associé qui sera finalement exécuté.



Sélection à choix multiples: `switch` (1)

La **sélection à choix multiples** permet parfois de remplacer avantageusement un enchaînement de branchements conditionnels, en permettant de sélectionner une instruction en fonction des valeurs possible d'une expression de type entier ou caractère.

La syntaxe générale d'une **sélection à choix multiples** est:

```
switch ( <expression> )  
{  
    case <Constante1> : <instructions1> ;  
    ...  
    case <Constanten> : <instructionsn> ;  
    [ default : <instructions> ; ]  
}
```

L'expression *<expression>* est évaluée, puis comparée successivement à chacune des valeurs *<Constante_i>*³ introduites par le mot réservé `case`. En cas d'égalité, le bloc (ou l'instruction) associée est exécutée. Dans le cas où il n'y a aucune *<Constante_i>* égale à la valeur de l'expression, l'éventuel bloc introduit par le mot réservé `default` est exécuté.

3. Pour spécifier ces valeurs, on ne peut uniquement utiliser des expressions constituées de valeurs littérales ou de constantes (l'expression doit être évaluable lors de la compilation)



Sélection à choix multiples: `switch` (2)

Exemple de sélection

```
switch (a+b)
{
    case 0: a = b; // exécuté uniquement lorsque
            break; // (a+b) vaut 0

    case 2:
    case 3: b = a; // lorsque (a+b) vaut 2 ou 3
    case 4:
    case 5: a = 0; // lorsque (a+b) vaut 2,3,4 ou 5
            break;
    default: a = b = 0; // dans tous les autres cas.
}
```



Lorsque l'exécution des instructions d'un `case` est terminée, le contrôle ne passe pas à la fin du `switch`, mais continue l'exécution des instructions suivantes (même si leur valeur associée n'est pas égale à l'expression de sélection). Pour provoquer la terminaison de l'instruction `switch`, il est nécessaire de placer explicitement une instruction **`break`**.



Boucles: while (1)

Les **boucles** permettent la mise en œuvre répétitive d'un traitement, contrôlé *a posteriori* ou *a priori* par une condition de continuation.

La syntaxe générale d'une boucle avec condition de continuation *a posteriori* est:

```
do
{
    <actions>
} while (<condition> );
```

La séquence d'instructions *<actions>* est exécutée **tant que** l'expression de continuation *a posteriori* *<condition>* est vérifiée.

Exemple

```
do
{
    cout << "valeur de i (>=0): ";
    cin >> i;
    cout << "=> " << i << endl;
}
while (i<0);
```




Boucles: `while` (2)

La syntaxe générale d'une boucle avec condition de continuation *a priori* est:

```
while ( <condition> )  
{  
    <actions>  
}
```

Tant que l'expression de continuation *a priori* `<condition>` est vérifiée, la séquence d'instructions `<actions>` est exécutée.

Exemple

```
while (x>0)  
{  
    cout << x;  
    x /= 2;  
}
```



L'itération: for (1)

Les itérations permettent l'application itérative d'un traitement, contrôlée par une opération d'initialisation, une condition d'arrêt, et une opération de mise à jour des variables de contrôle de l'itération.

La syntaxe générale d'une **itération** est:

```

for ( <initialisation> ; <condition> ; <mise à jour> )
{
    <actions>
}

```

Une itération `for` est équivalente à la boucle `while` suivante:

```

{
    <initialisation> ;
    while ( <condition> )
    {
        <actions>
        <mise à jour> ;
    }
}

```



Exemple: affichage du carré des nombres entre 0 et 10

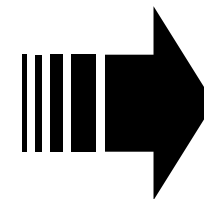
```
for (int i(0); i<=10; ++i)
{
    cout << i*i << endl;
}
```



Il est à noter que la variable de contrôle de la boucle (*i*) est déclarée et initialisée dans la clause `for`.

Lorsque plusieurs instructions d'initialisation ou de mise à jour sont nécessaires, elles sont séparées par des **virgules** (et sont évaluées de la gauche vers la droite)

```
for (int i(0), s(0); i<6; s+=i, ++i)
{
    cout << i << s << endl;
}
```



0	0
1	0
2	1
3	3
4	6
5	10



Ruptures de séquence (1)

C++ fournit également des instructions de *rupture de séquence*, permettant de contrôler de façon plus fine le déroulement des structures de contrôles.

Parmi ces instructions, on trouve **break** et **continue**.



L'instruction `break`:

Elle ne peut apparaître qu'au sein d'une boucle ou d'une clause de sélection. Elle permet d'interrompre le déroulement de la boucle (quelque soit l'état de la condition de continuation) ou de l'instruction de sélection, en provoquant un saut vers l'instruction suivant la structure de contrôle.



L'instruction `continue`:

Elle ne peut apparaître qu'au sein d'une boucle. Elle interrompt l'exécution des instructions du bloc, et provoque la ré-évaluation de la condition de continuation, afin de déterminer si l'exécution de la boucle doit être poursuivie (avec une nouvelle itération).



Ruptures de séquence (2)

```

while (condition)
{
    ...
    /* actions de la boucle */
    ...
    break
    ...
    continue
    ...
}
/* actions suivant la
structure de contrôle
*/

```

The code block is annotated with arrows: one arrow points from the left to the opening curly brace of the while loop, another points from the left to the closing curly brace, a third points from the left to the `break` statement, and a fourth points from the left to the `continue` statement.



Utilisation de break:

```

/*
   une façon de simuler une boucle
   avec condition d'arrêt:
*/
while (true)
{
    /* actions */
    if (<condition d'arrêt>)
    {
        break;
    }
}

```

Utilisation de continue:

```

for (int x = 0; x<100; ++x)
{
    /* actions exécutées pour
       tout x entre 0 et 99 incl */
    if (x%2)
    {
        continue;
    }
    /* action exécutées pour
       tout x impair
    */
}

```



Portée: variables locales/globales (1)

Les blocs ont une grande autonomie en C++.
Ils peuvent contenir leurs propres déclarations (et initialisations) de variables:



les variables déclarées à l'intérieur d'un bloc seront appelées *variables locales* au bloc; elles ne sont accessibles (référençables) qu'à l'intérieur de ce bloc;



les variables déclarées en dehors de tout bloc seront appelées *variables globales* au programme; elles sont accessibles dans l'ensemble du programme.



La portion de code dans laquelle une variable est utilisable est appelée la *portée* (ou *visibilité*⁴) de la variable, et s'étend usuellement de la déclaration de la variable jusqu'à la fin du bloc dans lequel est faite la déclaration



4. La visibilité effective d'une variable sera conditionnée par des règles de masquage qui seront vues plus loin dans le cours.



Portée: variables locales/globales (2)

```

// déclarations globales
int z(0);
...
void main()
{
    // déclaration locales
    int x,y;
    {
        // déclaration locales
        int y;
        ... x ...
        ... y ...
        ... z ...
    }
    ... y ...
    ... z ...
}

```

```

// début du programme
int z(0);
...
void main()
{
    // bloc niveau 1
    int x,y;
    ...
    {
        // niveau 2
        int y;
        ... x ...
        ... y ...
        ... z ...
    }
    ... y ...
    ... z ...
}

```




Portée: variables locales/globales (3)

En particulier, la déclaration d'une variable à l'intérieur d'une boucle est une déclaration **locale** au bloc associé à la structure de boucle.

Ainsi dans la structure de boucle

```
while (<condition> )
{
    int i(0);
    ...
}
```

la variable *i* est **locale** à la boucle

Et de même dans l'itération

```
for (int i(0); i<10; ++i)
{
    int j(0);
    cout << i << j << endl;
}
```

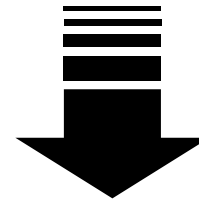
```
{
    int i(0);
    while (i<10)
    {
        int j(0);
        cout << i << j << endl;
        ++i;
    }
}
```



Portée: variables locales/globales (4)

Exemple: le programme

```
const int MAX(5);  
void main()  
{  
    int i(120);  
    for (int i(1); i<MAX; ++i)  
    {  
        cout << i << endl;  
    }  
    cout << i << endl;  
}
```



donne en sortie:

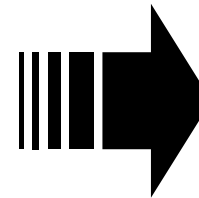
```
1  
2  
3  
4  
120
```



Autre exemple: le programme

```
const int MAX(5);  
void main()  
{  
    int i(120);  
    int j(0);  
    while (j<MAX)  
    {  
        int i(0);  
        ++j;  
        cout << j << ',' << i << endl;  
        i=j;  
    }  
    cout << j << ',' << i << endl;  
}
```

donne en sortie:



1	,0
2	,0
3	,0
4	,0
5	,0
5	,120



Notion de réutilisabilité (1)

A ce point du cours,
un programme n'est rien de plus qu'une
séquence bien formée d'instructions simples ou
composées (i.e. comprenant des structures de contrôle).

Exemple: soit P le programme d'affichage suivant¹

```

cout << "*****" << endl;
cout << "Ceci est un petit texte" << endl
    << "    permettant    " << endl
    << "d'afficher quelque chose" << endl
    << "    à l'écran    " << endl;
cout << "*****" << endl;

```

Si la tâche réalisée par le programme P doit être exécutée plusieurs fois,
une possibilité est de recopier P autant de fois que nécessaire...

... mais c'est [évidemment] une **très mauvaise** solution !



1. On pourrait également songer à non pas un programme d'affichage, mais à une fonction mathématique, telle que $\text{SinC}(x)$, soit $f(x) = \frac{\sin(x)}{x}$



Notion de réutilisabilité (2)

La duplication de larges portions identiques de code est à **poscrire**, car:

- ⇒ Cela rend la **mise à jour** du programme **fastidieuse**:
il faut [manuellement] répercuter chaque modification de P dans chacune de ses copies
 - ☞ c'est par conséquent une **source supplémentaire d'erreurs**, et cela dégrade donc la fiabilité globale du programme.

- ⇒ Cela **réduit la lisibilité** globale du programme:
la taille du programme source est plus importante, ce qui concourt à rendre les modifications et la traque des erreurs plus difficiles.

- ⇒ Cela **augmente** (de manière injustifiée²) la **taille** – donc l'occupation mémoire – du programme objet résultant.



Un langage de programmation doit donc fournir des moyens plus efficaces pour permettre la réutilisation de portions existantes de programmes.

2. Cette augmentation de taille est injustifiée **car** il existe une alternative à la duplication manuelle du code.



Réutilisabilité: les fonctions (1)

Pour mettre en œuvre la **réutilisabilité**,
la plupart des langages de programmation fournissent des
mécanismes permettant de manipuler des **portions de programmes**.

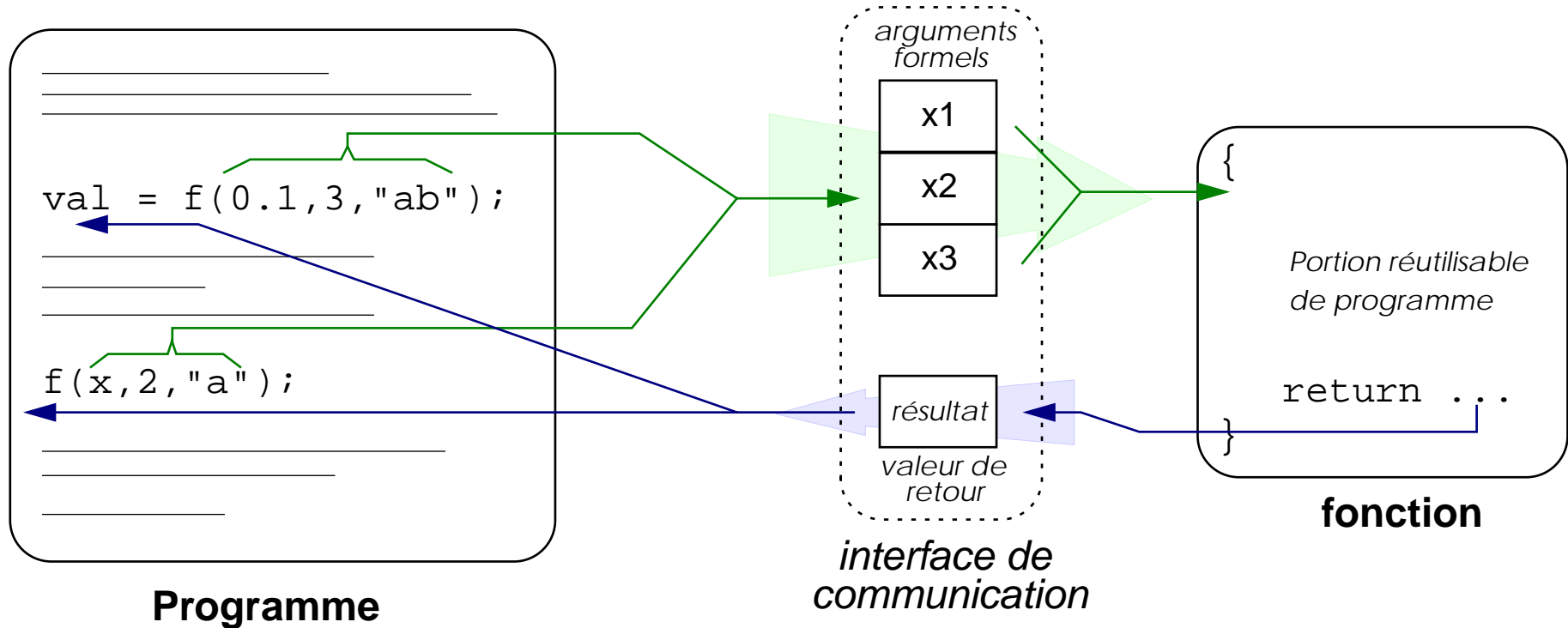
En C++, ces mécanismes vont s'appuyer sur la notion de *fonction*

De façon imagée, une fonction est assimilable à une expression,
dont l'évaluation (on dit l'**appel**) correspond à l'exécution de la portion
de programme qui lui est associée, et produit une valeur (résultat de l'évaluation),
la *valeur de retour* de la fonction.



Réutilisabilité: les fonctions (2)

Une **fonction** est donc une **portion réutilisable** de programme, associée à la définition d'une **interface explicite** avec le reste du programme (permettant de définir la manière d'utiliser cette fonction), par le biais d'une **spécification des arguments formels** (les «entrées») et de la **valeur de retour** (les «sorties»).





Réutilisabilité: les fonctions (3)

Plus précisément, une fonction est un élément informatique caractérisé par:

- un **identificateur**, qui n'est autre qu'une référence particulière à l'élément «fonction» lui-même;
- un **ensemble d'arguments formels**, qui correspondent en fait à un ensemble de références formelles à des entités définies à l'extérieur de la fonction, mais dont les valeurs seront potentiellement utilisées par la fonction;
- un **type de retour**, qui permet de préciser la nature du résultat retourné par la fonction
- un **corps**, qui correspond à un bloc (la portion de code réutilisable qui justifie la création de la fonction) et qui induit également une portée –locale– pour les éléments (variables, constantes) définis au sein de la fonction.



Prototypage (1)

Tout comme dans le cas des variables, la mise en œuvre d'une fonction se fait en 2 étapes:

- le *prototypage* ou *spécification* (équivalent de la déclaration des variables)
- la *définition* ou *implémentation* (à peu près équivalent de l'initialisation)

La syntaxe d'un *prototypage* est:

```
<type> <identificateur> (<arguments>);
```

Où *type* est le type de la valeur de retour renvoyée par la fonction³,
identificateur est le nom donné à la fonction, et
arguments est la liste des arguments formels, de la forme:

```
type1 id-arg1, type2 id-arg2, ..., typen id-argn
```

Exemple: `float puissance(const float base, float exposant);`

3. On dit souvent (par extension), le «type de la fonction»

Prototypage (2)



Dans les *prototypes* de fonctions, les identificateurs des arguments sont optionnels, mais servent généralement à rendre plus lisible le *prototype*.

Ainsi, la fonction `puissance` spécifiée précédemment pourrait être prototypée (de manière équivalente pour le compilateur, mais nettement moins lisible) par:

```
float puissance(const float, float);
```

Comme dans le cas des variables, les fonctions ont une portée (et une visibilité). Ceci implique que toute fonction doit être prototypée avant d'être utilisée.

Les prototypes des fonctions seront ainsi toujours placés avant le corps de la fonction *main*.

Exemple:

```
float puissance(const float base, float exposant);
void main()
{
    ...
    x = puissance(8.0, 3.);
    ...
}
```



Définition (1)

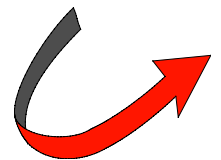
La *définition* permet «l'affectation» d'un corps (bloc d'instructions) au prototype de la fonction.

La syntaxe d'une *définition* est:

```
<type> <identificateur>(<arguments>)  
{  
    <corps de la fonction>  
    [return <valeur>]  
}
```

Où *corps de la fonction* est le **bloc** définissant la fonction, et dans lequel les arguments formels jouent le rôle de **variables ou constantes locales**, initialisées avec la valeurs des arguments employés lors de *l'appel* de la fonction.

Une instruction de rupture de séquence particulière, **return**, permet de terminer la fonction en retournant comme résultat de l'exécution la valeur spécifiée par *valeur*.





Définition (2)

Exemple:

```
#include <iostream>

// Prototypes .....

float moyenne(const float x1, const float x2);

// Définitions .....

void main()
{
    cout << moyenne(8.0,3.0) << endl;
}

float moyenne(const float x1, const float x2)
{
    return (x1+x2)/2.0;
}
```



Définition (3)

Comme dans le cas des variables, il est possible de réaliser le *prototypage* et la *définition en une seule étape* (dans ce cas la syntaxe est simplement celle de la définition)

On peut donc directement écrire:

```
float moyenne(const float x1, const float x2)
{
    return (x1+x2)/2.0;
}
void main()
{
    cout << moyenne(8.0,3.0);
}
```

Cependant, si pour les autres types de données il est recommandé de toujours initialiser lors de la déclaration, il est préférable, pour les fonctions, de réaliser le *prototypage* et la *définition* en 2 opérations distinctes.⁴

4. L'élément prédominant est de rendre le code le plus lisible possible. A cet fin, il est souvent préférable de regrouper les différentes déclarations en un endroit unique (typiquement en début de programme), et disposer ainsi d'une sorte d'index dans lequel il est aisé de retrouver le prototype d'une fonction donnée.



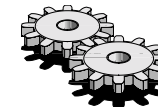
Evaluation d'un appel fonctionnel (1)

Pour une fonction f définie par: `int f(t1 x1, t2 x2, ..., tn xn) { ... }`
 l'évaluation de *l'appel fonctionnel* `f(arg1, arg2, ..., argn)`
 s'effectue de la façon suivante:

(1) les arguments $arg_1, arg_2, \dots, arg_n$ sont évalués (de la gauche vers la droite),
 et les valeurs produites sont liées avec les arguments formels x_1, x_2, \dots, x_n de la fonction f
 (cela revient concrètement à réaliser les affectations: $x_1=val_1, x_2=val_2, \dots, x_n=val_n$),
 où $val_1, val_2, \dots, val_n$ sont le résultat de l'évaluation des arguments ($val_i \leftarrow (arg_i)$);



(2) le bloc correspondant au corps de la fonction f est exécuté;



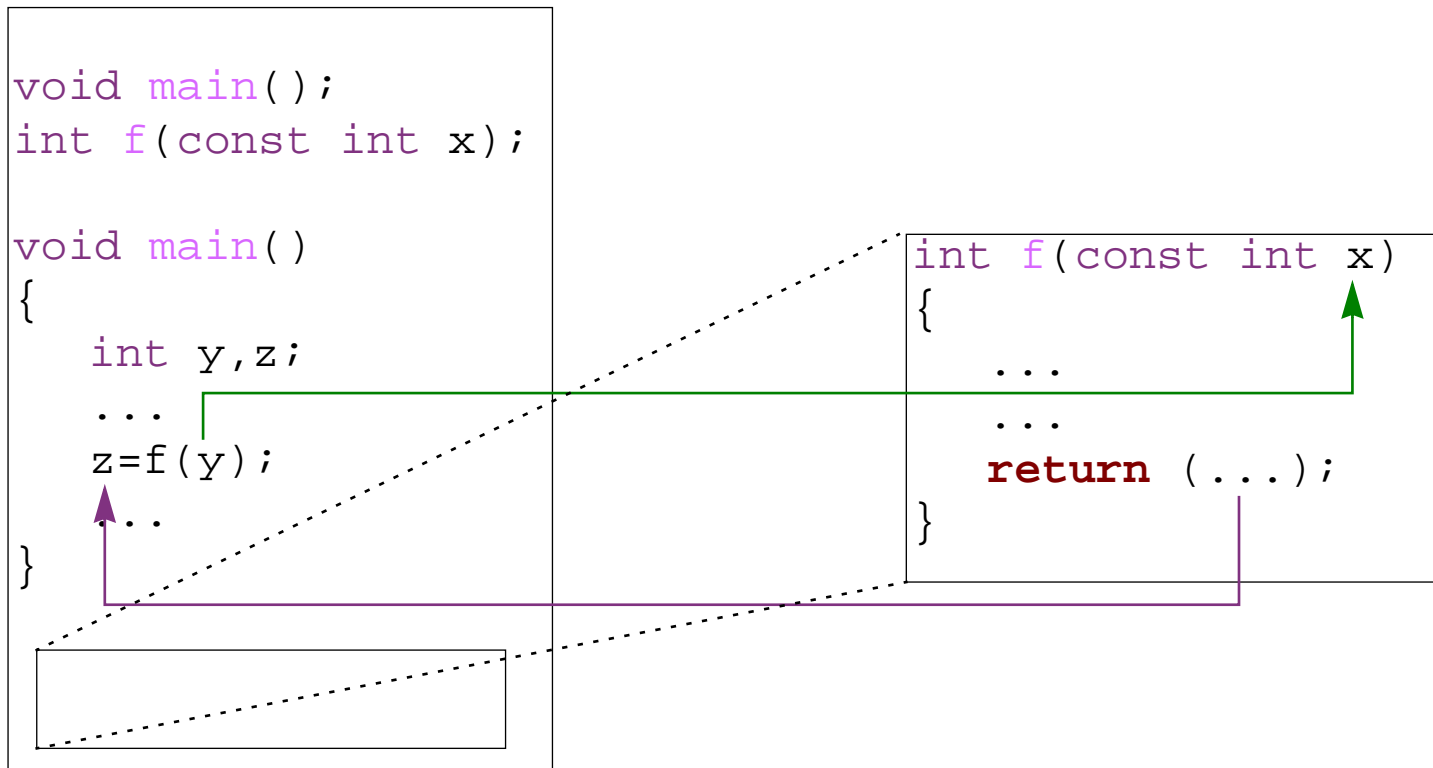
(3) l'expression (entière dans notre cas) définie par le mot clef `return` est évaluée,
 et est retournée comme résultat de l'évaluation de l'appel fonctionnel.





Evaluation d'un appel fonctionnel (2)

L'évaluation de l'appel fonctionnel peut être schématisé de la façon suivante:



Evaluation d'un appel fonctionnel (3)



Pour la fonction `moyenne()` précédemment définie, soit l'appel fonctionnel:

```
moyenne((sqrt(2*3*4)+1), 12%5)
```

- 1 Evaluation des arguments et liaison avec les arguments formels:

```
x1 = (sqrt(2*3*4)+1) => x1 = 5.89897948557
```

```
x2 = 12%5 => x2 = 2.0
```

- 2 Exécution du corps de la fonction:

```
moyenne = (x1+x2)/2.0 => moyenne = 3.94948974278
```

- 3 La valeur de retour, correspondant à l'évaluation de l'expression «appel fonctionnel», est donc: 3.94948974278

L'appel est alors équivalent à l'exécution du bloc:

```
float moyenne;
{
    const float x1(sqrt(2*3*4)+1);
    const float x2(12%5);
    moyenne = (x1+x2)/2.0;
}
```




Fonctions sans valeur de retour

Il est également possible de définir des fonctions **sans valeur de retour** (i.e. des fonctions qui ne renvoient rien, et donc à peu près équivalentes à de simple sous-programme).

Cette absence de valeur de retour sera indiquée, dans le prototype et la définition de la fonction, par un type de retour particulier, le type **void**

Dans ce cas, le mot réservé `return` n'est pas requis, l'exécution de la fonction se terminant à la fin du bloc constituant son corps. Il est toutefois possible l'instruction `return` (dans ce cas sans indication d'expression de retour), afin de provoquer explicitement (et généralement prématurément) la terminaison de la fonction.

Exemple:

```
void afficheEntiers(const int n)
{
    for (int i(0); i<n; ++i)
        cout << i << endl;
    return;
}
```

```
void main()
{
    int n(10);
    afficheEntiers(n+1);
}
```



Fonctions sans arguments

De même, il est possible de définir des fonctions **sans arguments**.

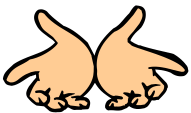
Dans ce cas, la liste des arguments du prototype et de la définition est tout simplement vide (mais les parenthèses délimitant cette liste vide doivent être présentes)

Exemple:

```
int saisieEntiers();

void main()
{
    int val = saisieEntiers();
    cout << val << endl;
}

int saisieEntiers()
{
    int i;
    cout << "Entrez un entier: ";
    cin >> i;
    return i;
}
```





Notion de portée locale (1)

Les notions de *portée locale* v.s. *globale* définies pour les blocs sont également valides dans le cadre des fonctions⁵.

Comme dans le cas des blocs,
la *portée* permet de résoudre les problèmes de conflits de référencement entre entités *externes* (i.e. définies à l'extérieur du corps de la fonction) et entités *internes* (i.e. définies dans le corps-même de la fonction).

Exemple:

```
int i(2);  
void f(int a);  
void main {  
    f(i);  
}  
void f(int a) {  
    int i(10);  
    cout << a*i << endl;  
}
```



Quelle variable est référencée par le *i* de l'instruction `cout << a*i << endl` ?

5. Cela est bien naturel, puisque le corps d'une fonction n'est autre qu'un bloc.



Notion de portée locale (2)

Les règles utilisées en C++ sont:

- ➔ En cas de conflit de référence entre une entité interne et une entité externe, **l'entité interne est systématiquement choisie**; on dit que les **références internes sont de portée locale**, i.e. limitées aux entités internes de la fonction. On dit également que les entités internes *masquent* les entités externes.
- ➔ Les **arguments formels** d'une fonction constituent des **entités internes** à sa définition.
- ➔ Les références (non ambiguës) à des entités externes sont possibles⁶. Il est néanmoins préférables de les éviter, en **explicitant systématiquement** toute référence à une entité externe **par le biais d'un argument formel**.

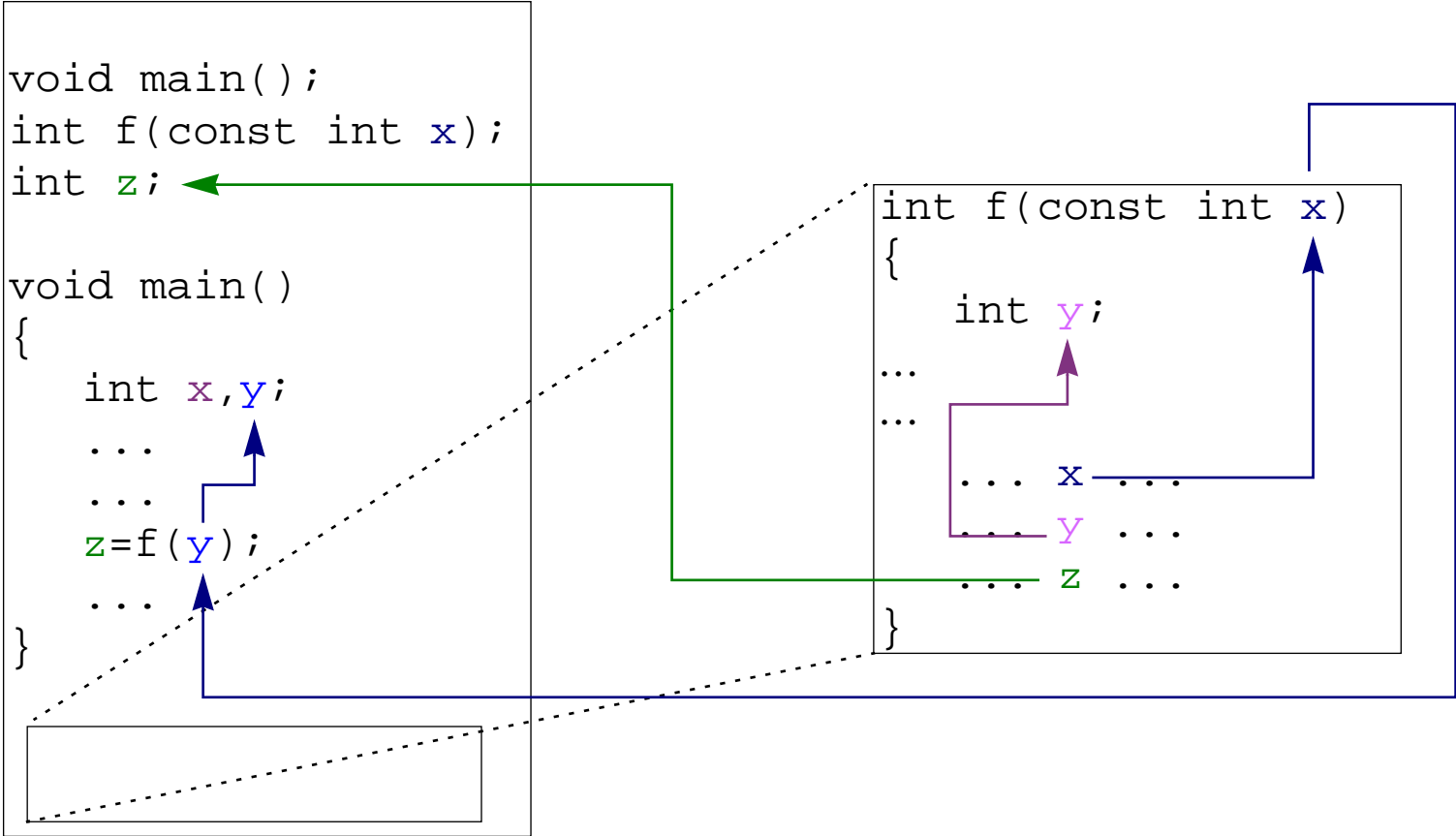
6. Une fonction modifiant des variables externes sera dite «à effet de bord», ce qui est fortement déconseillé.





Notion de portée locale (3)

Schématiquement, ces règles peuvent se représenter par:





Le passage des arguments

En C++, on distingue pour les fonctions
2 types de **passage d'arguments**:

➔ le *passage par valeur*:

dans lequel la fonction travaille sur
des **copies locales** des arguments transmis

➔ et le *passage par référence*:
dans lequel la fonction travaille effectivement
l'argument **transmis** lui-même.



Passage par valeur (1)

La variable locale associée à un argument formel *passé par valeur* correspond à une *copie locale* de l'argument utilisé lors de l'appel de la fonction.

C'est donc une entité distincte, mais de même valeur littérale, et en conséquence, les modifications éventuelles apportées à l'argument formel à l'intérieur de la fonction n'affectent pas la variable originale:

Les modifications effectuées à l'intérieur de la fonction **ne sont pas répercutées à l'extérieur.**

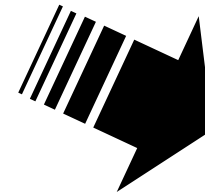


Passage par valeur (2)

Exemple

```
void f(int x)
{
    x = x + 2;
    cout << "'x' vaut: " << x << endl;
}

void main()
{
    int val(0);
    f(val);
    cout << "'val' vaut: " << val << endl;
}
```



```
'x' vaut: 2
'val' vaut: 0
```

La modification de l'argument formel `x` effectuée dans la fonction `f ()` laisse inchangée la valeur de la variable `val` utilisée comme argument (associé à `x`) lors de l'appel de la fonction..

De ce fait, il est tout à fait possible d'utiliser des valeurs littérales comme argument lors des appels aux fonctions [pour les arguments passés par valeur].



Passage par référence (1)

La variable locale associée à un argument formel *passé par référence* ne correspond qu'à un autre nom (synonyme local) pour l'argument utilisé lors de l'appel de la fonction⁷.

Aucune nouvelle variable n'est créée, et en conséquence, les modifications éventuelles apportées à l'argument formel à l'intérieur de la fonction affectent également l'argument original:

Les modifications effectuées à l'intérieur de la fonction sont répercutées à l'extérieur.

Le passage par référence doit être explicitement indiqué. Pour ce faire, on ajoute le symbole «&» au type des arguments formels concernés (par exemple: `int&`, `bool&`, ...).

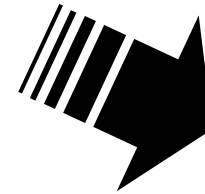
⁷. Ce type de «variable» est appelé *référence*, d'où le nom de *passage par référence*.



Passage par référence (2)

Exemple

```
void f(int& x) {  
    x = x + 2;  
    cout << "'x' vaut: " << x << endl;  
}  
void main() {  
    int val(0);  
    f(val);  
    cout << "'val' vaut: " << val << endl;  
}
```



```
'x' vaut: 2  
'val' vaut: 2
```

Remarquons que dans le cas d'arguments passés par référence, les valeurs littérales ne peuvent être utilisés comme arguments lors de l'appel à la fonction que pour des arguments formels déclarés constants.



Entités de type «référence à»

De manière générale, les entités de type «*référence à*» (appelée plus simplement des *références*) permettent de définir de nouveaux noms (**synonymes** ou *alias*) pour des variables ou constantes existantes.

Leur déclaration se fait de la même manière qu'en paramètre des fonctions; la syntaxe est:

```
[const] <type>& <alias>( <entité> );
```

Où *entité* est une variable, une constante ou une référence de type *type*.⁸

Exemple:

```
char c('a');
const int i(2);
...
char& c_alias(c); // un simple synonyme de «c»
const int& i_alias(i); // un synonyme (obligatoirement) constant de la constante «i»
const char& c_alias2(c_alias); // un synonyme constant de la variable «c»
```

Une référence ne peut pas être ré-assignée. Une fois déclarée, elle restera donc toujours associée au même élément.

8. Il est possible de déclarer des références *constantes* à des variables, mais il n'est pas permis de déclarer des références *simples* à des constantes.



Arguments par défaut (1)

Lors de sa définition,
une fonction peut être munie d'**arguments avec valeur par défaut**,
pour lesquels il n'est alors pas obligatoire de fournir de valeur
lors de l'appel de la fonction.

La syntaxe pour définir des arguments
avec **valeur par défaut** est:

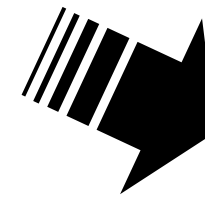
```
<type> <argument> = <valeur>
```



Exemple

```
void afficheLigne(const char c, const int n = 5)
{
    for (int i(0); i<n; cout << c, ++i);
    cout << endl;
}

void main()
{
    afficheLigne('*');
    afficheLigne('+',8);
}
```



```
*****
+++++++
```

Dans le cas du premier appel («`afficheLigne('*')`»),
la valeur du second argument n'étant pas spécifiée,
celui-ci prend la valeur par défaut «5».

Par contre, il prend la valeur explicitement spécifiée («8»)
dans le cas du second appel («`afficheLigne('+',8)`»).



Arguments par défaut (3)

Attention



- Dans le cas d'une fonction avec *prototype* et *définition* distincts, la spécification des arguments avec valeur par défaut **ne doit être réalisée que lors du *prototypage***.
- Les arguments avec valeur par défaut doivent apparaître **en dernier** dans la liste des arguments de la fonction.
- Lors de l'appel d'une telle fonction, avec plusieurs arguments avec valeur par défaut, les arguments omis doivent être **les derniers** de la liste des arguments optionnels.

Exemple:

```
void f(int x, int y=2, int z=3); // prototype
void f(int x, int y, int z) { ... } // définition
...
f(1) <=> f(1,2,3)
f(0,1) <=> f(0,1,3)
```



Surcharge des fonctions (1)



On appelle «*signature* d'une fonction» le couple constitué de l'identificateur de la fonction et de la liste de types de ses arguments formels.

(le type de retour de la fonction ne fait pas partie de la signature !)

Comme c'est par le biais de leur signature que le compilateur identifie les fonctions utilisées par le programmeur⁹, il est de ce fait tout à fait possible de définir **plusieurs fonctions avec un même identificateur** (nom), **mais de listes d'arguments différentes** (soit par le nombre d'arguments, soit par leur type).

Un tel mécanisme, appelé *surcharge* [des fonctions], est très utile pour l'écriture de fonctions correspondant à des traitements de même nature, mais s'appliquant à des entités de types différents.

9. La *signature* d'une fonction est donc similaire à la notion d'*attribut identifiant* dans le domaine des bases de données.

Surcharge des fonctions (2)

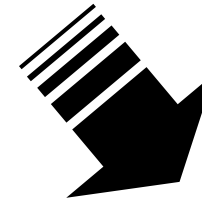


Exemple:

```

void affiche(const int x) {
    cout << "entier: " << x << endl;
}
void affiche(const float x) {
    cout << "réel: " << x << endl;
}
void affiche(const int x1, const int x2) {
    cout << "couple: ("
        << x1 << ', ' << x2 << ') ' << endl;
}

void main() {
    affiche(1.0);
    affiche(1);
    affiche(5,2);
}
    
```



```

réel: 1.0
entier: 1
couple: (5,2)
    
```



Les arguments avec valeur par défaut **ne font pas** partie de la signature.

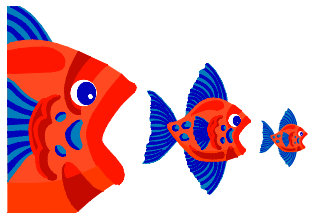


Algorithmique et récursion

Pour un problème donné,
par exemple le tri d'une table,
de nombreuses solutions algorithmiques
peuvent être applicables.

Une catégorie particulière de solutions sont
les **résolutions *récursives***.

Le principe de l'approche récursive est de
ramener le problème à résoudre à un sous-problème
correspondant à *une instance «réduite» du problème lui-même*.





Exemple de récursion appliquée au tri

tri

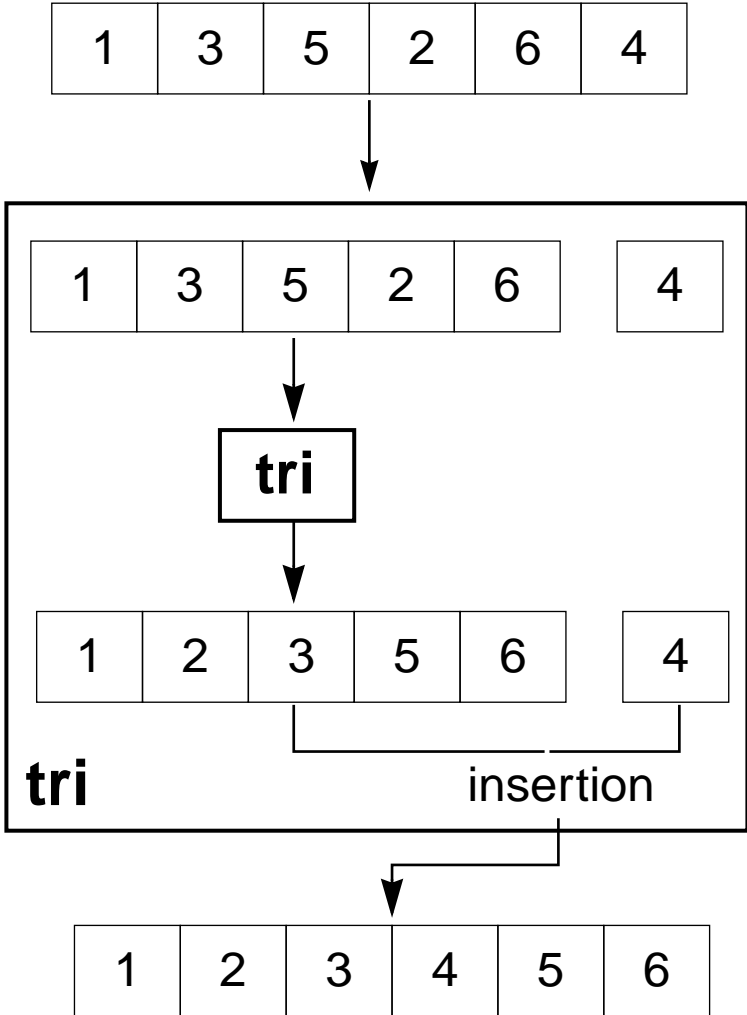
entrée: table de n éléments
sortie: table triée

tri (instance réduite du problème)

entrée: table de $n-1$ éléments
sortie: table triée

...

insertion: insertion (au bon endroit) du n^e élément dans le tableau trié de $n-1$ éléments





Algorithme récursif (1)

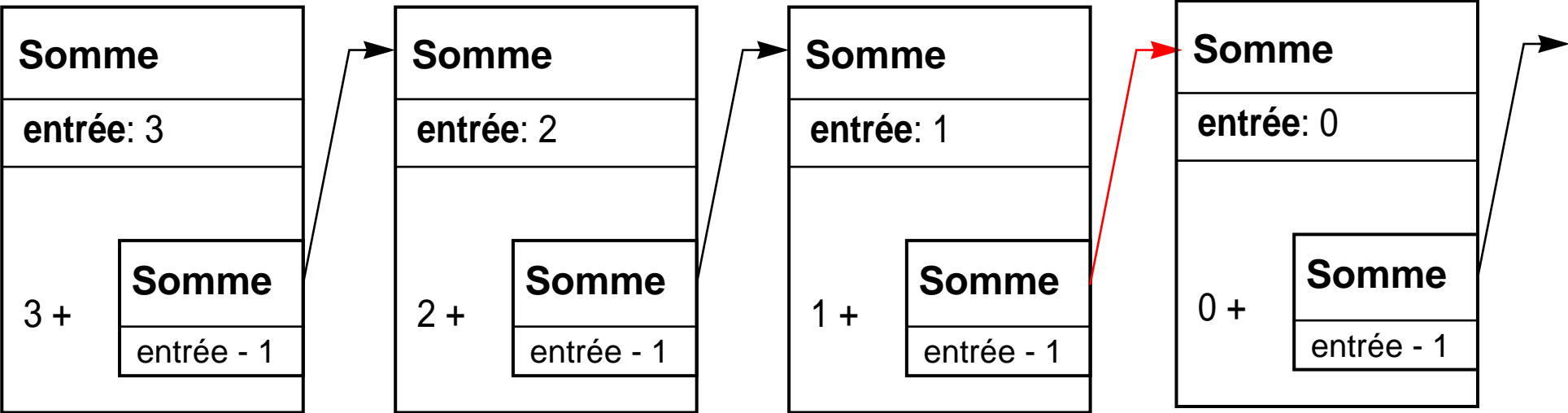


Attention

Pour que la résolution récursive soit correcte,
il faut une **condition de terminaison** portant sur les entrées.

Sinon, on risque fort de boucler indéfiniment !

Exemple: la somme des n premiers entiers positifs





Algorithme récursif (1)

Le schéma général d'un algorithme récursif **correct** est donc:

AlgoRécursif

entrées: entree

si condition de terminaison atteinte

alors retourner une valeur de sortie

sinon

AlgoRécursif (instance réduite)

entrée: entrée de l'instance réduite

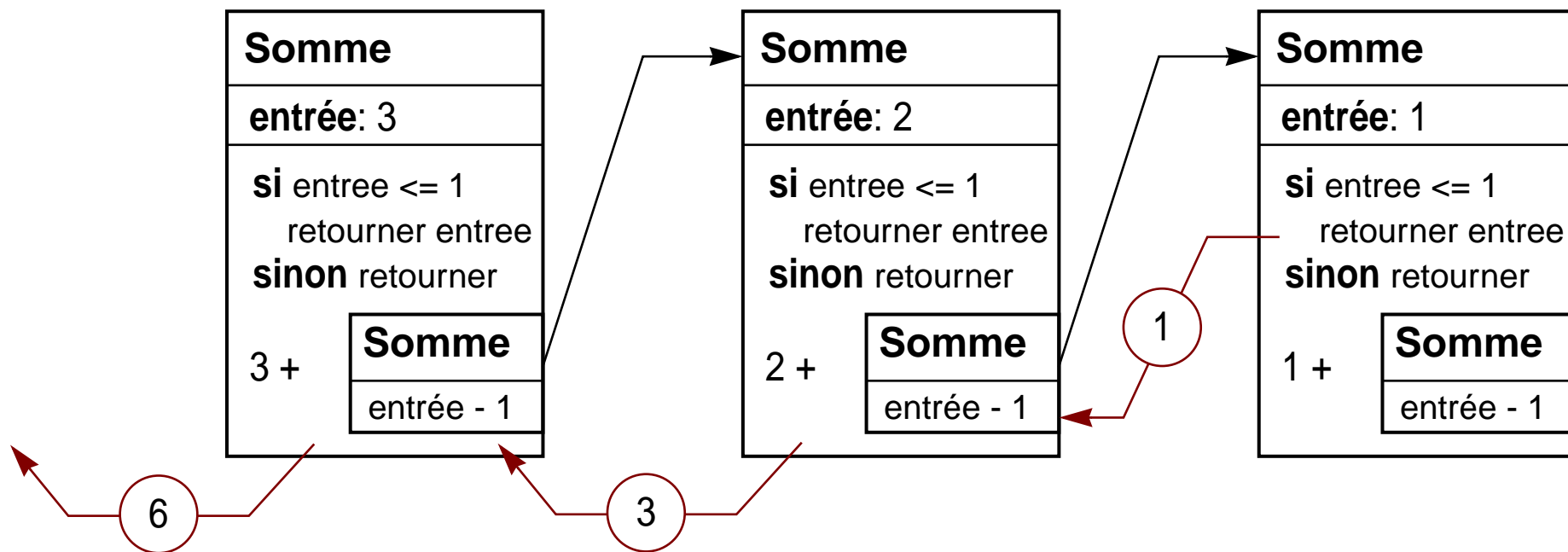
...

terminer le traitement et retourner une valeur de sortie.



Algorithme récursif (2)

Appliqué à l'exemple de la somme des n premiers entiers positifs, on obtient l'algorithme correct suivant:





Algorithme récursif (3)

Par exemple, le schéma de l'algorithme récursif `tri_recuratif` est:

`tri_recuratif`

entrée: tableau de n éléments

sortie: tableau triée

si taille du tableau ≤ 1 ,
le tableau est trié, et on peut le retourner

sinon:

`tri_recuratif`

du tableau privé de
son dernier élément

`insertion`

du dernier élément à la bonne
place dans le sous-tableau trié



Les fonctions récursives (1)

Concrètement, un algorithme récursif sera implémenté par une *fonction récursive*.

Comme la définition d'une fonction (i.e. son corps) peut faire appel à toute fonction précédemment prototypée dans le même programme, elle peut donc, en particulier, *faire appel à elle-même*.

Une fonction qui, dans sa définition, fait appel à elle-même est appelée une *fonction récursive*¹⁰



Pour être effectivement utilisable, une fonction récursive doit posséder une **condition d'arrêt** (conditionnant l'exécution ou non de l'appel récursif)

10. Sur le plan syntaxique, une telle fonction n'est pas différente des autres. La seule différence réside dans le fait que la définition de la fonction induit un cycle, par un appel à elle-même. Remarquons que l'on appelle également récursives des fonctions couplées (A appelle B qui appelle A).



Les fonctions récursives (2)

Le schéma général d'une *fonction récursive* est donc le suivant:

```
typeret fonctionRec(type1 x1, type2 x2, ...)
{
    typeres result;
    if (terminaison(x1, x2, ...))
    {
        ...
        result = ...
    }
    else
    {
        type1 y1 = ...
        type2 y2 = ...
        ...
        result = ... fonctionRec(y1, y2, ...)
    }
    return result;
}
```




Les fonctions récursives (3)

Exemple: la somme des n premiers entiers positifs

```
// prototypage
int somme(const int n);

// définition
int somme(const int n)
{
    if (n >= 1) // condition d'arrêt
    {
        return n;
    }
    else
    {
        return (n + somme(n-1)); // appel récursif
    }
}
```



Second exemple: on reprend l'algorithme de tri proposé précédemment:

On suppose en outre disposer des fonctions suivantes:

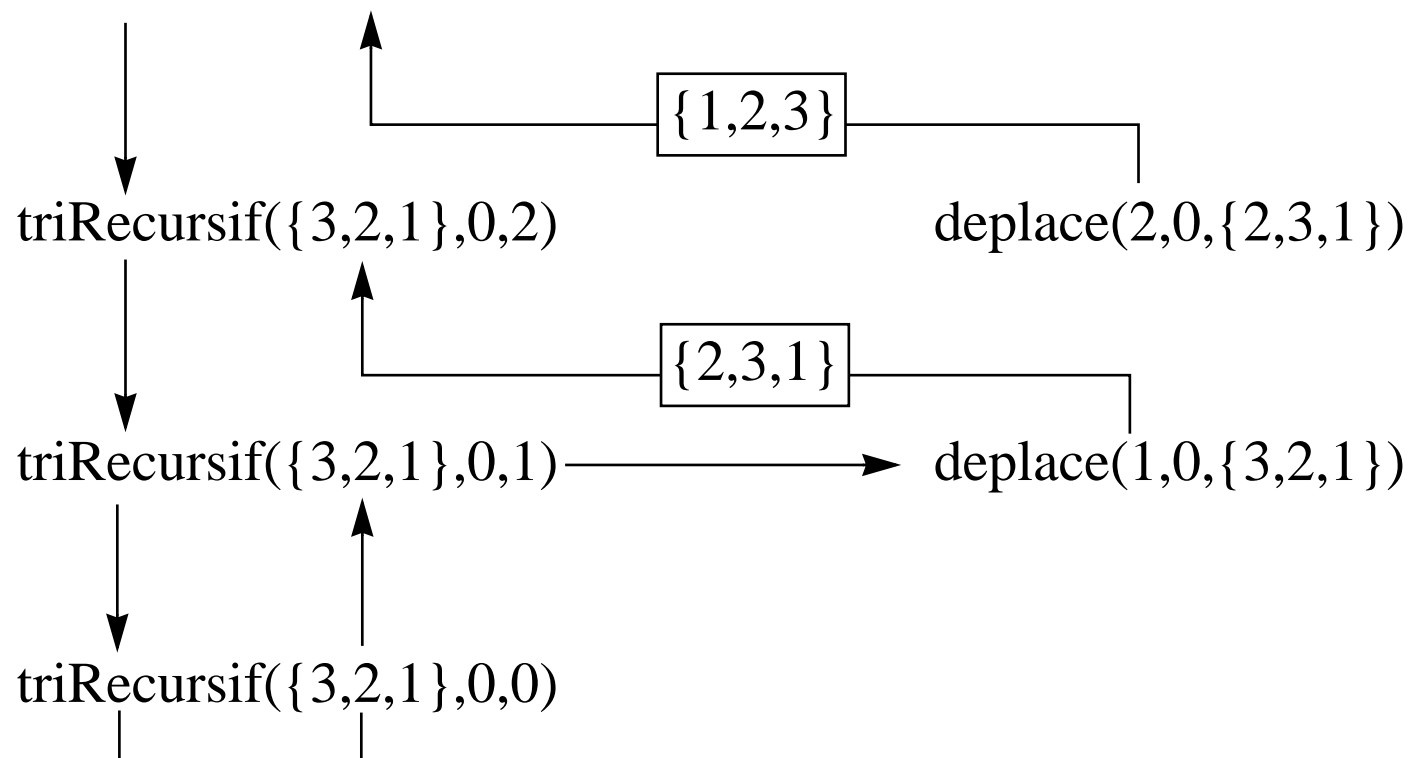
- ☞ `int` `bonnePlace(const int index, vector<int>& table)`
qui retourne la «bonne place» de l'élément d'indice `index` dans le tableau `table`
- ☞ `void` `deplace(const int from, const int to, vector<int>& table)`
qui déplace l'élément d'indice `from` vers l'indice `to`, en décalant les éléments de `table` existant entre `from` et `to`

```
void triRécursif(vector<int>& table, const int from, const int to)
{
    if (from == to) // un seul élément -> (sous-)table triée
        return;
    else
    {
        triRécursif(table, from, to-1); // appel récursif
        deplace(to, bonnePlace(to, table), table);
    }
}
```



Les fonctions récursives (5)

Le scéma des appels récursifs pour un appel tel que: `triRécursif({3,2,1},0,2)`:



Structures de données: types composés



Les **types élémentaires** (nombres entiers, réels, caractères, booléens, ...) permettent de représenter des **concepts simples** du monde réel: des dimensions, des sommes, des tailles, ...

Les identificateurs associés permettent de donner une signification aux divers entités manipulées (pour cette raison, il faut toujours utiliser des noms aussi explicites que possible)

Exemples:

```
age = 18; poids = 62.5; taille = 1.78; ...
```

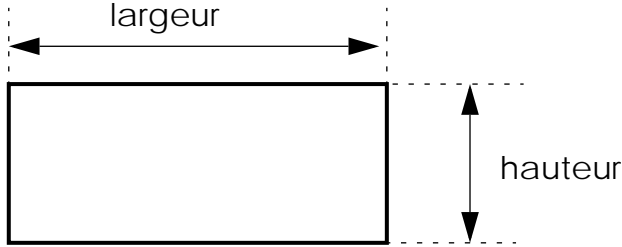
Cependant, de nombreux concepts plus sophistiqués ne se réduisent pas à une seule entité élémentaire...





Exemple de type composé

Un rectangle par exemple peut être définis par 2 grandeurs élémentaires: sa «largeur» et sa «hauteur».



Si l'on ne dispose que de type élémentaires, ces grandeurs seront représentée indépendamment l'une de l'autre, et leur relation devra être indiquée par le programmeur, par exemple au moyen d'identificateurs tels que: `rectangle_largeur` et `rectangle_hauteur`.

Rectangle

<i>longueur</i>	<i>hauteur</i>
20	1.75

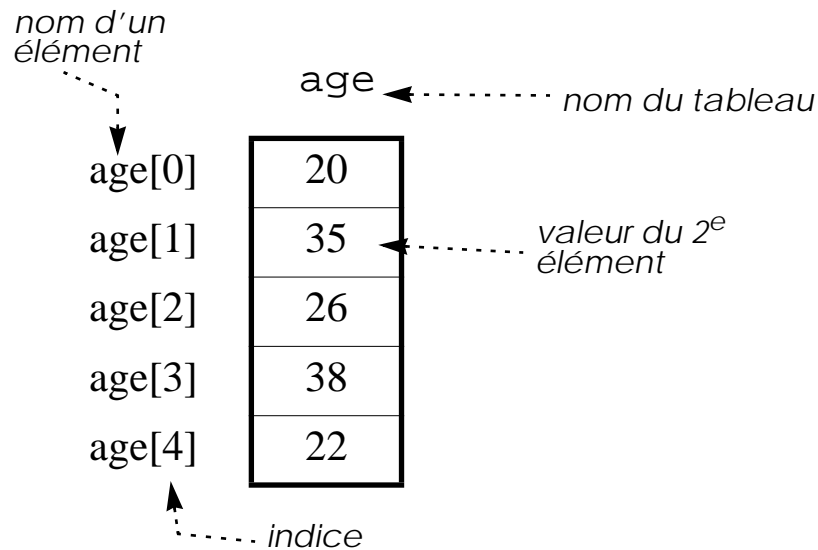
Afin d'éviter au programmeur d'avoir à assurer la cohésion des entités composites, un langage de programmation doit fournir le moyen de combiner les type élémentaires pour construire et manipuler des objets informatiques plus complexes.

Ces types non élémentaires sont généralement appelés **types composés**.



Types composés: les tableaux

Une première façon de composer des types élémentaires est de regrouper une collection d'entités (de même type) dans une structure tabulaire: le *tableau*



En C++, les tableaux sont des ensembles d'un **nombre fixe** d'éléments:

- de même type, appelé *type de base* (le tableau est donc une structure *homogène*);
- référencés par un même identificateur, **l'identificateur du tableau**;
- individuellement accessibles par le biais d'un **indice**.



Le type de base est quelconque: il peut s'agir de n'importe quel type, élémentaire ou composé. On pourra donc définir des tableaux d'entiers, de réels, de caractères, ... et de tableaux.



Tableaux: déclaration

Un tableau de taille fixe peut être déclaré selon la syntaxe suivante:

```
<type> <identificateur>[<taille>];
```

Avec *type* n'importe quel type, élémentaire ou non,
et *taille* une valeur entière littérale ou une expression entière constante
(i.e. évaluable lors de la compilation)

Cette instruction déclare un tableau désigné par *identificateur*,
comprenant *taille* éléments de type *type*.

Exemple:

Ainsi, le tableau *age* vu précédemment
peut être déclaré par:

```
int age[5];
```

	age
age[0]	20
age[1]	35
age[2]	26
age[3]	38
age[4]	22



Tableaux: *déclaration-initialisation*

Naturellement, un tableau de taille fixe peut être **initialisé** directement, lors de sa déclaration.

La syntaxe est alors:¹

```
<type> <identificateur>[<taille>] = {<val1>, ..., <valn>};
```

Exemple:

```
int age[5] = {20, 35, 26, 38, 22};
```

Remarquons que dans le cas d'une *déclaration-initialisation*, la spécification de la taille du tableau est **optionnelle**.

Ainsi, la déclaration-initialisation précédente peut également être écrite:

```
int age[] = {20, 35, 26, 38, 22};
```

1. Il est également possible de n'initialiser que les premiers éléments du tableau, comme dans: «int age[5] = {20, 35}».



Tableaux: accès aux éléments

Chaque élément du tableau est **accessible individuellement**.

Pour cela, on utilise un *indice*² placé entre crochets « [] », indiquant le rang de l'élément dans le tableau³.



Les éléments d'un tableau de taille n sont numérotés de 0 à $n-1$.

Il n'y a pas de contrôle de débordement du tableau !

Exemple:

L'accès au premier élément du tableau `age` s'obtient au moyen de l'expression: «`age[0]`», et l'accès au dernier élément par «`age[4]`», comme dans:

```
age[0] = 3;  
age[4] = age[1+2]; // soit age[4] = age[3]
```

2. Indice qui peut être une expression numérique.
3. Pour être tout à fait précis, on n'accède pas aux éléments en spécifiant un rang, mais un déplacement (une distance, dont l'unité est l'élément/expri- mée en nombre d'éléments), relativement au premier élément du tableau. C'est pour cela que l'indigage débute à 0 et non à 1.



Tableaux: tableaux de caractères (1)

Les tableaux de caractères forment une catégorie particulière de tableaux. Ils sont en particulier utilisés pour représenter les **chaînes de caractères** (délimitées par les guillemets anglais " ").

Ainsi, une définition tel que:

```
char mot[7] = {'b', 'o', 'n', 'j', 'o', 'u', 'r'};
```

pourrait être utilisée pour représenter la chaîne "bonjour".

Cependant, comme une chaîne de caractères étant un élément de taille variable, il faut lui associer une information permettant d'en retrouver la longueur.

A l'inverse de langages comme *Pascal*, C++ ne code pas explicitement cette longueur, mais délimite la chaîne par un caractère spécial – « '\0' » –, marquant la fin de la chaîne.

La chaîne "bonjour" sera donc implémentée par:

```
char mot[8] = {'b', 'o', 'n', 'j', 'o', 'u', 'r', '\0'};
```

et sa taille sera de **8 caractères**, et non pas 7 !



Tableaux: tableaux de caractères (2)

La syntaxe de C++ autorise cependant une initialisation **plus pratique** des «tableaux-chaîne de caractères»:

```
char mot[] = "bonjour";4
```

Une telle représentation des chaînes, héritée du langage C, à comme inconvénient de **fixer la taille de la chaîne** de caractères.



Cette manière de procéder impose un certain nombre de contraintes lors d'opérations sur les chaînes de caractères (par exemple l'affectation, la concaténation de deux chaînes, etc.)

Ceci non seulement diminue l'efficacité de ces traitements, mais surtout oblige les programmeurs à effectuer eux-mêmes un certain nombre de manipulations dans le cas d'opérations sur les chaînes qui ne sont pas fournies dans les bibliothèques standards.

Pour pallier ce défaut, on pourra utiliser, comme nous le verrons plus loin dans le cours, un type issu de l'approche objet de C++, le type **string**

4. Cette instruction est effectivement équivalente à celle vue précédemment (incluant le caractère '\0')

Tableaux: tableaux multidimensionnels (1)



Le type de base d'un tableau est peut être un type quelconque, y compris composé. En particulier, le type de base d'un tableau peut être lui-même un tableau.

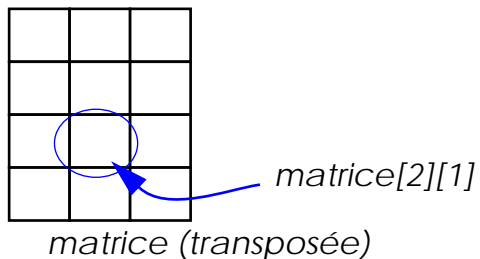
La syntaxe est alors:

```
<type> <identificateur> [<dim1>] [<dim2>] [...] [<dimn>];
```

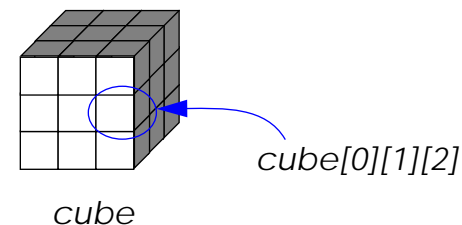
Les entités d'un tel type sont alors des tableaux de tableaux, soit des tableaux multidimensionnels⁵.

Exemple:

```
int matrice[4][3];
```



```
float cube[3][3][3];
```



5. En fait, les tableaux informatiques correspondent aux vecteurs mathématiques, et les tableaux de tableaux à des matrices.

Tableaux: tableaux multidimensionnels (2)



Les tableaux multidimensionnels sont naturellement initialisables lors de leur déclaration, et chaque éléments est accessible individuellement.

Exemple:

```
int matrice[4][3] = {{0,1,2},{3,4,5},{6,7,8},{9,10,11}};
matrice[2][1] = 70;
```

matrice[][j] →

0	1	2
3	4	5
6	70	8
9	10	11

matrice[i][] ↓

Dans les deux cas, il faut spécifier autant d'indices qu'il y a de dimensions dans le tableau.



Tableaux: sizeof

C++ fournit un opérateur unaire (i.e. à 1 argument), **sizeof**, qui retourne la taille de son opérande, comptée en octets.

sizeof(*<opérande>*)

opérande pouvant être un type quelconque⁶, notamment un tableau, il est possible d'utiliser cet opérateur pour déterminer automatiquement le rang du dernier élément d'un tableau, et éviter ainsi les ennuis causés par un dépassement des limites du tableau:

```
typedef float vecteur;
vecteur v[5] = {0.1, 0.1, 0.3, 0.0, -0.3};

// Affiche le contenu du vecteur 'v', du dernier élément au
// premier, en les séparant par un espace.

for (int i(sizeof(v)/sizeof(float)); i>0; --i)
{
    cout << v[i] << ' ';
}

```

6. Il peut également s'agir d'une variable ou une constante, ainsi que d'une expression.



Tableaux dynamiques: *vecteurs*

Pour pallier les défauts inhérents à la rigidité des tableaux de taille fixe (*built-in array*), la librairie (générique) standard⁷ de C++ fournit un type de donnée⁸ dénommée *vector* (*vecteur*), offrant au programmeur un moyen très efficace pour construire des structures de données permettant de représenter des **tableaux de tailles variables** (i.e. *tableaux dynamiques*)⁹.

La taille de ces «tableaux» n'est pas obligatoirement prédéfinie, et peut donc varier en cours d'utilisation.

Pour pouvoir utiliser ces *vecteurs* dans un programme, il faut, comme dans le cas des entrées-sorties, importer les prototypes et définitions contenus dans la librairie, au moyen de la directive d'inclusion:

```
#include <vector>
```

7. Le nom officiel de cette librairie est *STL* (*Standard Template Library*)
8. En fait de type, il s'agit en réalité d'un *chablon* de *classe* (*template classe*), c'est-à-dire une définition **générique** (valide et réutilisable pour n'importe quel type, de base ou complexe).
9. Pour être exact, les *vectors* sont plus que de simples tableaux dynamiques; ils s'inscrivent dans une famille plus générale d'éléments, utilisés comme briques de bases pour les structures de données complexes, éléments que l'on appelle *conteneurs* (*containers*) ou *collections*, et pour lesquels un ensemble de caractéristiques et contraintes très précises sont définies, comme par exemples les performances minimales des algorithmes d'accès et de recherche.



Vecteur: déclaration (1)

Un *vecteur* peut être déclaré selon la syntaxe suivante:

```
vector<<type>> «identificateur»;
```

Avec *type* n'importe quel type, élémentaire ou non,
et correspondant au type de base du tableau.

Exemple:

```
#include <vector>  
...  
vector<int> age;
```

Il s'agit d'une déclaration de variable («age») tout à fait traditionnelle, dans laquelle la séquence «`vector<int>`» correspond à l'indication du type de la variable, en l'occurrence un tableau dynamique (*vecteur*) d'entiers.

On voit dans ce cas clairement ressortir la nature composite du type.



Vecteur: déclaration (2)

Le fait que l'on s'intéresse ici à des *collections* d'un nombre potentiellement variable d'éléments explique que la déclaration puisse ne comporter aucune indication sur la taille initiale du tableau. Une variable ainsi déclarée correspond alors tout simplement à un tableau vide.

Cependant, une taille initiale peut, si nécessaire, être indiquée; la syntaxe de la déclaration est alors:

```
vector<<type>> «identificateur» («taille»);
```

Un tableau nommé *identificateur* comportant *taille* éléments de type *type* sera créé, chacun des éléments ayant comme valeur la valeur par défaut de *type* généralement une valeur dérivée de l'expression (0).

Exemple:

```
vector<int> age(5);
```

Correspond à la déclaration d'un tableau d'entiers, initialement composé de 5 éléments valant 0.

	age
age[0]	0
age[1]	0
age[2]	0
age[3]	0
age[4]	0



Vecteur: déclaration avec initialisation

La déclaration d'un *vecteur* peut être associée à une **initialisation explicite** des éléments initiaux; cependant, cette initialisation ne pourra consister qu'en (a) une duplication d'un même élément, ou (b) en une duplication d'un *vecteur* pré-existant:¹⁰

- (a) `vector<«type»> «identificateur» («taille», «valeur»);`
où *valeur* est une expression de type *type*, dont le résultat sera pris comme valeur initiale des *taille* éléments du tableau *identificateur*.

Exemple:

```
vector<int> vect1(5, 8);
```

déclare le *vecteur* d'entiers *vect1* avec un contenu initial de 5 entiers valant «8»

- (b) `vector<«type»> «identificateur» («id-vecteur»);`
où *id-vecteur* est un identificateur de *vecteur* de type de base *type*.

Exemple:

```
vector<int> vect2(vect1);
```

déclare le *vecteur* d'entiers *vect2*, avec un contenu initial identique au contenu de *vect1* (duplication).

10. Contrairement au cas des tableaux de taille fixe, il n'existe pas de moyen simple pour exprimer la valeur littérale d'un *vecteur* dont les éléments n'ont pas tous la même valeur.



Vecteur: constante

Comme pour tous les autres types, il est possible de déclarer des **constantes** de type *vecteur*

La syntaxe est identique à celle des autres déclarations de constantes:

```
const vector<«type»> «identificateur» («initialisation»);
```

identificateur correspond alors à un *vecteur* dont tant le nombre d'éléments que la valeur de chacun de ces éléments sont fixes (et ne peuvent donc être modifiés).

Exemple:

```
const vector<int> age;
```

Correspond à la déclaration d'un *vecteur* constant vide (ne contenant aucun élément) et auquel aucun élément ne pourra être ajouté¹¹

```
const vector<int> vect2(vect1);
```

Correspond à la déclaration d'une copie figée (*snapshot*) du vecteur *vect1*.



Il n'est pas possible de déclarer des vecteurs de constantes.

Ainsi, la syntaxe `vector<const «type»> «identificateur»` bien que licite en soit, n'est en pratique pas utilisable.

¹¹. Cette déclaration est bien sûr totalement inutile.



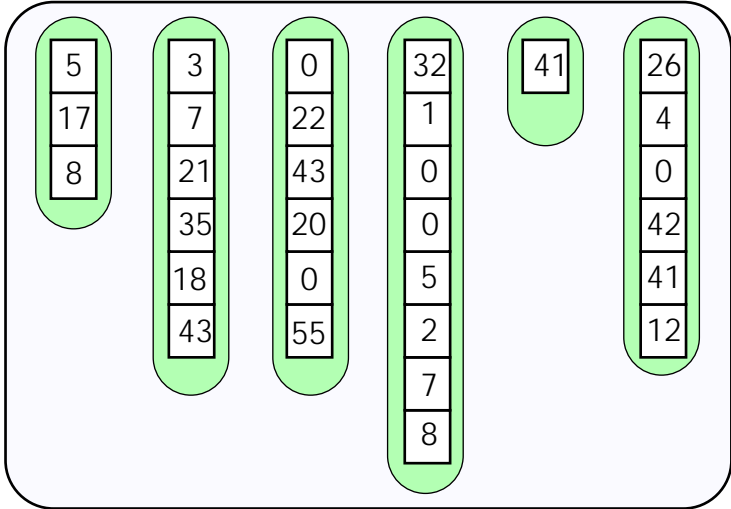
Vecteur: vecteur de vecteur

Le type de base d'un *vecteur* est peut être un type quelconque, y compris composé. En particulier, le type de base d'un *vecteur* peut être lui-même un *vecteur*.

```
vector<vector<int> > matrice;
```

Attention, dans le cas d'une déclaration directe d'une telle structure, il est obligatoire de séparer les «>», présents en fin de définition du type, par un espace¹².

D'un point de vue sémantique, les *vecteurs* de *vecteurs* ne correspondent pas (nécessairement) à des matrices, mais simplement à des ensembles d'ensembles d'éléments.



vector<vector<int> >

12. Cette contrainte est en fait une convention adoptée pour distinguer ce typage de l'opérateur «>>»



Vecteur: affectation

Toute **variable**¹³ de type *vector* peut être modifiée (globalement) par affectation:

$$\langle \text{identificateur} \rangle = \langle \text{valeur} \rangle;^{14}$$

où *valeur* est une expression de même type qu'*identificateur*, notamment en ce qui concerne le type de base.

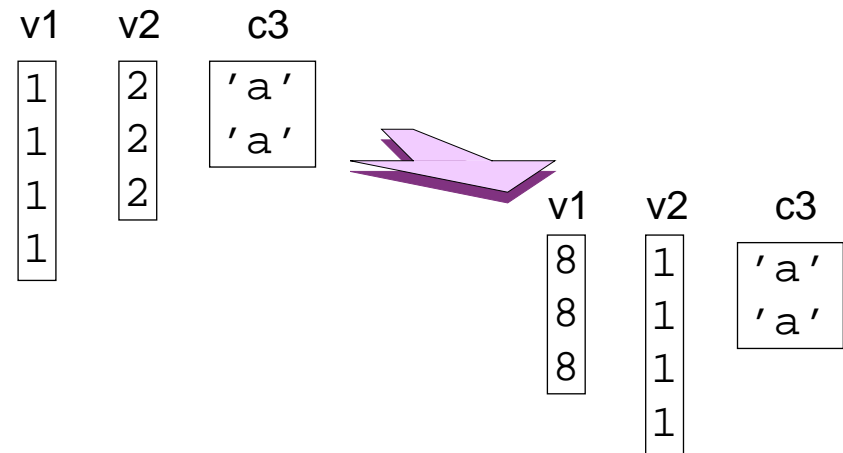
Dans ce cas, la modification va porter sur l'ensemble des éléments de la structure:

Exemple:

```

// 1) Déclarations-initialisations
vector<int> v1(4,1);
vector<int> v2(3,2);
vector<char> c3(2,'a');
// 2) Affectations .....
v2 = v1;
v1 = vector<int>(3,8);
c3 = vector<int>(4,7); // ILLEGAL

```



13. Sauf [naturellement] les constantes.

14. Parmi les opérateurs définis pour les *vecteurs*, on trouve en effet celui d'*affectation*, i.e. « = ».



Vecteur: accès aux éléments

Chaque élément d'un vecteur est **accessible individuellement**.

Différents moyens permettent d'accéder aux éléments,
et notamment l'indexation comme dans le cas des tableaux de taille fixe:

L'*indice*¹⁵, placé entre crochets « [] », indique le rang de l'élément dans le tableau.



Les éléments d'un vecteur de taille n sont numérotés de 0 à $n-1$.
Dans le cas d'accès via l'opérateur « [] »,
Il n'y a pas de contrôle de débordement du tableau !

¹⁵. Indice qui peut être une expression numérique.



Vecteur: opérateurs relationnels

Les **opérateurs relationnels** suivant sont définis pour les vecteurs:

<i>Opérateur</i>	<i>Opération</i>	
<	strictement inférieur	comparaison lexicographique des éléments.
<=	inférieur ou égal	
>	strictement supérieur	
>=	supérieur ou égal	
==	égalité	
!=	différence (non-égalité)	



Vecteur: méthodes (1)

Un certain nombre d'opérations, directement liées à l'aspect «ensembliste» des vecteurs, sont définies dans la librairie *STL*.

L'utilisation de ces opérations particulières, appelées *méthodes*¹⁶, se fait par le biais de la syntaxe suivante:

```
«id-vector».«id-methode» («arguments»);
```

Exemple:

```
individus.push_back(jean);
```

à comme effet d'appliquer la méthode `push_back`, au vecteur `individus`, en prenant `jean` comme paramètre [de la méthode].

Comme les fonction, les méthodes peuvent éventuellement retourner une valeur.

¹⁶ Les méthodes sont des éléments informatiques (séquences d'instructions) issus de l'extension «objet» de C++. Pour le moment, il vous suffit de les considérer comme des fonctions ayant une syntaxe d'appel un peu particulière.



Parmi les méthodes disponibles, on trouve¹⁷:

Prédicats:

- `int size()`: renvoie la taille du *vecteur* (i.e. son nombre d'éléments).

Une manière usuelle pour parcourir les éléments d'un *vecteur* est donc l'itération `for` suivante:

```

for (int i(0); i<vect.size(); ++i)18
{
    // traitements
}

```

- `bool empty()`: indique si le vecteur est vide (ou non).

On a l'équivalence suivante: `«vect.empty()» <=> «(vect.size() == 0)»`

17. Par convention:

- «*vect*» désignera la variable *vecteur* pour laquelle la méthode est invoquée;
- «*base-type*» désignera le type de base d'un *vecteur*

18. Dans le cas où le sens de parcours est sans importance, on pourra avantageusement remplacer cette séquence par cette autre, plus efficace:

```
for (int i(vect.size()-1); i >= 0; --i) { ... }
```



Vecteur: méthodes de mise à jour

Modificateurs:

- `void clear()`: vide le vecteur, en supprimant tous ses éléments.
Après l'invocation de cette méthode, le prédicat «empty» est forcément vrai.
- `void pop_back()`: supprime le dernier élément du vecteur.
- `void push_back(const base-type element)`: ajoute element à la fin du vecteur; element devient donc le nouveau dernier élément du vecteur.

Exemple: La boucle suivante initialise un vecteur d'entiers positifs, de taille 8, en demandant à l'utilisateur de saisir les valeurs initiales.
Lors de la saisie, l'utilisateur a la possibilité d'effacer la valeur précédemment saisie, en indiquant un chiffre négatif, ou d'effacer tout le vecteur, en entrant 0.

```
while (vect.size() < 8) {  
    int val;  
    cout << "Entrez coefficient " << vect.size() << ':' << flush;  
    cin >> val;  
    if (val < 0) {vect.pop_back(); continue;}  
    if (val == 0) {vect.clear(); continue;}  
    vect.push_back(val);  
}
```



Accès:

- **base-type** `front()`: renvoie une référence vers le premier élément du vecteur
Les séquences «`vect.front()`» et «`vect[0]`» sont donc équivalentes.

Précondition: le vecteur n'est pas vide (le prédicat «`empty()`» est faux).

Exemple: L'itération suivante a comme effet de diviser tous les éléments d'un vecteur (à l'exception du premier), par le premier élément du vecteur.

```
for (int i(1); i<vect.size(); ++i)
{vect[i] /= vect.front();}
```

- **base-type** `back()`: renvoie une référence vers le dernier élément du vecteur
Les séquences «`vect.back()`» et «`vect[vect.size()-1]`» sont équivalentes.

Précondition: le vecteur n'est pas vide (le prédicat «`empty()`» est faux).

Exemple: remplir un vecteur d'entiers, en demandant chaque valeur à l'utilisateur;
le vecteur est considéré comme plein lorsque l'utilisateur entre la valeur 0.

```
do { vect.push_back(saisirEntier)
} while (vect.back());
```



Commande typedef

L'utilisation de variables dans un programme implique généralement que l'on spécifie plusieurs fois le type de ces variables (lors de la déclaration des variables, lors du prototypage des fonctions qui en font usage, lors de conversions, etc...)

Lorsque le type est complexe, sa définition peut être ardue, et est généralement longue, ce qui ne facilite pas la lecture du programme. En outre, les modifications éventuelles à apporter à la définition du type doivent être opérées sur chacune de ses occurrences. Comme dans le cas des «blocs d'instructions réutilisables» (i.e. les fonctions), et pour les mêmes raisons, la duplication de la définition d'un type est à éviter.

La commande `typedef` permet pour cela de définir des *synonyme (alias)* de types, qu'ils soient fondamentaux ou composés:

```
typedef <type> <alias>;
```

Cette instruction permettra de désigner le type `type` indifféremment par `type`, ou au moyen de l'identificateur `alias` (`typedef` n'introduit pas de nouveau type, mais un nouveau nom pour le type)

Commande typedef: exemple



```
typedef int longueur;
longueur diametre, rayon;
int nbCercles;
...
void traceCercles(longueur d,
                  longueur r, int nombre)
{ ... }
```

```
// pas de typedef //
int diametre, rayon;
int nbCercles;
...
void traceCercles(int d,
                  int r, int nombre)
{ ... }
```

Dans ces deux exemples, `diametre`, `rayon` et `nbCercles` sont tous de même type (`int`). Mais, si l'on utilise `longueur` pour exprimer toutes les longueurs (programme de gauche), et que pour une raison quelconque on est amené à changer la représentations des longueurs (p.ex. par des réels), il suffira d'opérer ce changement dans la définition de l'alias `longueur`, plutôt qu'à chaque occurrence de `int` représentant une longueur.

```
typedef float longueur;
longueur diametre, rayon;
int nbCercles;
...
void traceCercles(longueur d,
                  longueur r, int nombre)
{ ... }
```

```
// pas de typedef //
float diametre, rayon;
int nbCercles;
...
void traceCercles(float d,
                  float r, int nombre)
{ ... }
```



typedef et types composés

Comme dans pratiquement tous les cas de types composés, la commande «**typedef**» permet de simplifier les déclarations (plus de lisibilité).

Par exemple dans la cas des tableaux (*built-in* ou *vecteurs*), en fournissant un alias pour le couple (*indication de tableau*, type de base):

```
typedef «type-base» «alias»[«taille»]  
  
typedef vector<«type-base»> «alias»
```

Dans le cas des tableaux multidimensionnels, on peut se servir avantageusement de cette commande pour rendre plus explicite les déclarations et les usages ultérieurs:

```
typedef int Vecteur2[2];           // définit le type Vecteur2 comme un tableau de 2 entiers  
typedef vector<int> GrilleLoto;   // et GrilleLoto comme un ensemble d'entiers  
typedef Vecteur2 Matrice3x2[3];  // définit le type Matrice3x2 comme un tableau de 3 Vecteur2  
typedef vector<GrilleLoto> BulletinLoto; // et BulletinLoto un ensemble de GrilleLoto  
Matrice3x2 A = {{1,2},{3,4},{5,6}}  
BulletinLoto fortune;
```



La classe «string»

Comme dans le cas des tableaux, le type natif (*built-in*) fourni par le langage pour la représentation des chaînes de caractères (c'est-à-dire un tableau de taille fixe, avec le caractère `'\0'` comme marqueur de fin de chaîne) n'est pas toujours très pratique.

La bibliothèque standard de C++ met donc à disposition du programmeur un nouveau type (en réalité une *classe*) dénommé *string*, permettant une représentation efficace des chaînes, et offrant une large panoplie de fonctions nécessaires à la manipulation et au travail avec de telles chaînes:

- concaténation de chaînes,
- ajout/retrait d'un ou plusieurs caractères,
- recherche de sous-chaînes,
- substitution de sous-chaînes,
- ...

Pour pouvoir utiliser des *string* dans un programme, il faut importer les prototypes et définitions contenus dans la bibliothèque au moyen de la directive d'inclusion:

```
#include <string>
```



Déclaration d'une chaîne

Comme pour tout les autres types, les variables correspondant à des chaînes de caractères `string` doivent être déclarées; la syntaxe est:

```
string «identificateur» ;
```

Exemple:

```
#include <string>  
...  
string chaine;
```



Les variables déclarées suivant la syntaxe indiquée ci-dessus sont automatiquement initialisées à une valeur correspondant à la chaîne vide.



Déclaration+initialisation d'une chaîne

La syntaxe d'une déclaration avec initialisation est:

```
string «identificateur» («valeur»);
```

où *valeur* est:

- ⇒ soit une chaîne de caractères de la forme "..."
- ⇒ soit une variable, constante ou référence de type `string`

Exemple:

```
string str("une chaîne");  
string chaine(str);
```

▼ La valeur littérale à utiliser pour une initialisation explicite à une chaîne vide est: «" "».

Affectation d'une chaîne



Toute variable de type `string` peut être modifiée par affectation:

`«identificateur» = «valeur»;`

où *valeur* est:

- ⇒ soit un caractère (par exemple: «'i'»)
- ⇒ soit une chaîne de la forme «"..."»
- ⇒ soit une référence à une autre entité de type `string`

Exemple:

```
string chaine;           // chaine vaut « »
const string chaine2("test"); // chaine2 vaut «test»
chaine = 'c';           // chaine vaut «c»
chaine = string("str-temporaire"); // chaine vaut «str-temporaire»
chaine = "built-in str"; // chaine vaut «built-in str»
chaine = chaine2;       // chaine vaut «test»
```

 Dans le cas de l'affectation par un caractère, la valeur affectée à la chaîne est une **chaîne de caractère** réduite à ce caractère.



Opérateurs relationnels entre chaînes

Les **opérateurs relationnels** suivant sont définis pour les chaînes de type `string`:

<i>Opérateur</i>	<i>Opération</i>	
<	strictement inférieur	La relation d'ordre utilisée pour ces opérateurs est l' ordre alphabétique . (plus exactement, ordre lexicographique)
<=	inférieur ou égal	
>	strictement supérieur	
>=	supérieur ou égal	
==	égalité	
!=	différence (non-égalité)	



L'ordre alphabétique n'est pas respecté dans le cas des caractères accentués, et les majuscules sont considérées comme précédant les minuscules.



Accès aux caractères

Comme dans le cas des tableaux, il est possible d'accéder individuellement à chaque caractère constitutif d'une chaîne:

Si `str` est une chaîne de type `string`, l'expression `str[i]` fait référence au $(i+1)^{\text{ème}}$ caractère de `str`.

Chacun des éléments `str[i]` d'une chaîne `str` de type `string` est de type `char`.

Toujours comme dans le cas des tableaux, les éléments d'une chaîne sont indicés de 0 à $(\text{taille} - 1)$, où *taille* est la longueur de la chaîne (c'est-à-dire son nombre de caractères).



Concaténation de chaînes

La *concaténation* de chaînes de type `string` est réalisée par l'opérateur « `+` »

L'expression « `chaine1 + chaine2` » correspond donc à une **nouvelle chaîne**, dont la valeur littérale est constituée par la concaténation des valeurs littérales de `chaine1` et de `chaine2`.

Les combinaisons suivantes sont possibles:

- *string* + *string*,
- *string* + *char*,
- *string* + "...",
- *char* + *string*,
- "... " + *string*,



Parmi les fonctions (*méthodes*)¹⁹ disponibles, on trouve²⁰:

Prédicats:

- `int size()`
`int length()`

Toutes deux renvoient la longueur de la chaîne (i.e. le nombre de caractères).

Une manière usuelle pour parcourir un à un les caractères d'une chaîne est donc l'itération `for` suivante:

```
for (int i(0); i<str.size(); ++i) {
    // traitements avec «str[i]»
}
```

- `bool empty()`: indique si la chaîne est vide (ou non).

On a l'équivalence suivante: «`str.empty()`» \Leftrightarrow «`(str.size() == 0)`»

19. Pour plus d'informations sur l'appel de tels fonctions, se référer au chapitre présentant les vecteurs.

20. Par convention, «`str`» désignera la variable de type *string* pour laquelle la méthode est invoquée



- `string& insert(int pos, const char[] s)`
`string& insert(int pos, const string& s)`

Insère, à partir de la position indiquée par `pos`, la chaîne `s`, et renvoie une référence à la chaîne modifiée.

Exemple: «`string("1234").insert(2, "-xx-")`» utilise le premier des prototypes spécifiés ci-dessus, et renvoie une référence à la chaîne de type `string` et de valeur «12-xx-34».

- `string& insert(int pos, const char[] s, int len)`
`string& insert(int pos, const string& s, int start=0, int len=npos)`²¹

Insère, à partir de la position indiquée par `pos`, une sous-chaîne de `s` débutant à la position `start` (ou 0 dans le cas du premier prototype), et de longueur `len`. Une référence à la chaîne modifiée est retournée.

Exemple: «`string("1234").insert(2, string("#$%-!", 3, 1))`» utilise le second prototype²², et renvoie une référence à la chaîne de type `string` et de valeur «12-34».

21. Une constante particulière, baptisée «`string::npos`» permet en effet de représenter la notion «jusqu'à la fin de la chaîne».

22. Remarquons que grâce à la conversion automatique (casting) des chaînes de forme «"..."» vers le type `string`, la commande peut également s'écrire: «`string("1234").insert(2, "#$%-!", 3, 1)`».



Méthodes de `string`: remplacements

- `string& replace(int pos, int long, const char[] s)`
`string& replace(int pos, int long, const string& s)`

Substitue `s` au long caractères de la chaîne, à partir de la position indiquée par `pos`. Renvoie une référence à la chaîne modifiée.

Exemple: «`cout << string("1234").replace(2,1, "-trois-")`» produira comme résultat l'affichage de la chaîne «12-trois-4»: les caractères de l'intervalle [`pos, pos+long-1`], soit le caractère [`2,2`], sont remplacés par la chaîne `s`.

- `string& replace(int pos, int long, const char[] s, int len)`
`string& replace(int pos, int long, const string& s, int start, int len)`²³

Substitue la sous-chaîne de long caractères et débutant à la position `pos`, par la sous-chaîne de `s` de len caractères et débutant à la position `start` (ou 0 dans le cas du premier prototype). Une référence à la chaîne modifiée est retournée.

Exemple: «`cout << string("1234").replace(2,1, "-trois-",1,5)`» produira comme résultat l'affichage de la chaîne «12trois4»: les caractères de l'intervalle [`pos, pos+long-1`], soit le caractère [`2,2`], sont remplacés par la sous-chaîne de `s` [`start, start+len-1`].

²³. Avec les mêmes valeurs par défaut pour `start` et `l` que dans le cas de la méthode `insert`.



Méthodes de `string`: recherches

- `int find(char s, int pos = 0)`
`int find(const char[] s, int pos = 0)`
`int find(const string& s, int pos = 0)`

Retourne l'indice du premier caractère de l'occurrence de `s` **la plus à gauche** dans la chaîne, éventuellement privée de ses `pos` premiers éléments (la recherche débute à partir de la position `pos`). Renvoie «`string::npos`» dans le cas où aucune occurrence n'est trouvée.

Exemple: «`string("baabbaabbaab").find("ba", 2)`» renverra 4

- `int rfind(char s, int pos = npos)`
`int rfind(const char[] s, int pos = npos)`
`int rfind(const string& s, int pos = npos)`

Retourne l'indice du premier caractère de l'occurrence de `s` **la plus à droite** dans la chaîne, éventuellement privée de ses (`taille-pos`) derniers éléments (la recherche débute à partir de la position `pos`). Renvoie «`string::npos`» dans le cas où aucune occurrence n'est trouvée.

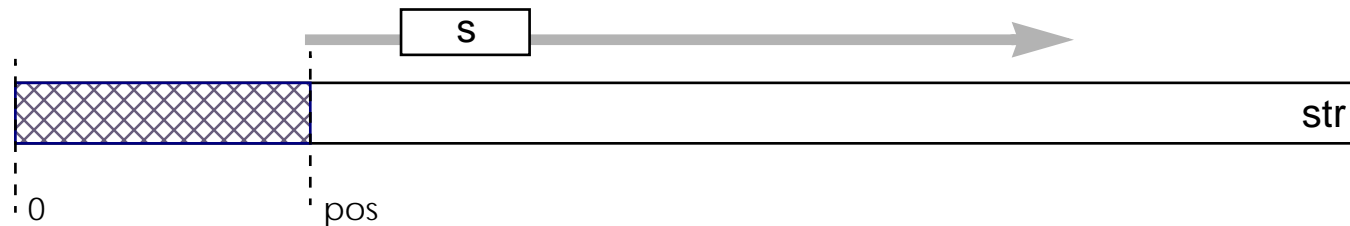
Exemple: «`string("baabbaabbaab").rfind("ba")`» renverra 8



Fonctionnement de `find` et `rfind`

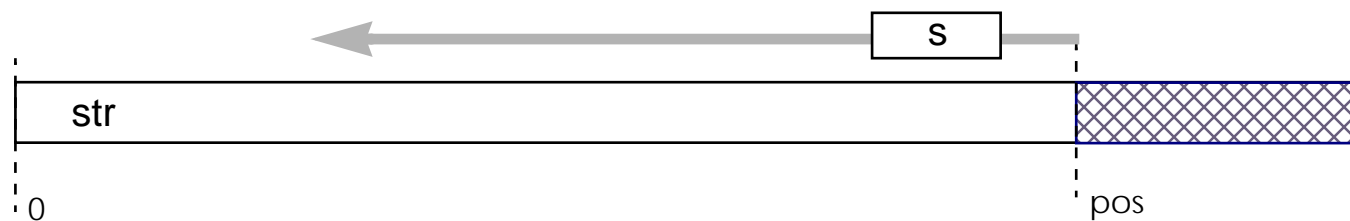
- La méthode «`find`» effectue une recherche du début vers la fin, en prenant comme début la position éventuellement spécifiée comme position de départ.

Ainsi, «`str.find(s, pos)`» consiste à faire une recherche de `s` dans `str`, privée de ses `pos` premiers éléments:



- La méthode «`rfind`» effectue une recherche de la fin vers le début, en prenant comme fin la position éventuellement spécifiée comme position de départ.

Ainsi, «`str.rfind(s, pos)`» consiste à faire une recherche «arrière» de `s` dans la sous-chaîne préfixe de `str` et de longueur `pos + 1`:





Exemple d'utilisation des strings (1)

On désire réaliser une extension automatique des abréviations dans un texte:

les CFF évoluent, c-à-d progressent.



les Chemin de Fer Fédéraux évoluent, c'est-à-dire progressent.

On utilise pour cela une table de correspondance entre les abréviations (acronymes) et leur signification:

Acronyme	Signification
CFF	Chemin de Fer Fédéraux
c-à-d	c'est-à-dire
...	...



Exemple d'utilisation des strings (2)

```
#include <string>
#include <vector>

// Définition des composants de la table associative
typedef vector<string> Strings;

// Table associative, globale (externe)
Strings acronymes;
Strings significations;

// Fonction de remplacement:
// utilise les variables externes définissant les acronymes,
// mais uniquement en lecture (pas d'effet de bord).
void expliciteAcronymes(string& str)
{
    int debutAbbreuv;
    for (int i(0); i<acronymes.size(); ++i)
        while ((debutAbbreuv=str.find(acronymes[i])) != string::npos)
            str.replace(debutAbbreuv,acronymes[i].size(),significations[i]);
}
...
```



Entrées-sorties en C++

En C++, les entrées-sorties sont gérées par le biais d'un ensemble de type (classes) spécialisés, les *flots* (*streams*).

L'idée de base des *flots* est de **séparer l'aspect logique** des entrées-sorties (i.e. leur intégration dans des programmes) **de leur aspect physique** (i.e. leur réalisation par le biais de périphériques particuliers).

Ainsi, un *flot* représente un **flux de données** entre le programme et un dispositif d'entrée-sorties externe (écran, imprimante, ...) ou un fichier.²⁴

Comme nous l'avons déjà vu, les opérations de *sorties* sont réalisées à l'aide de l'*opérateur d'insertion* « << », tandis que celle d'*entrées* le sont à l'aide de l'*opérateur d'extraction*, « >> ».

Il existe un certain nombre de variables prédéfinies de type `stream`:

- **`cin`** : flot lié à l'*entrée standard*, qui par défaut est le clavier
- **`cout`** : flot lié à la *sortie standard*, qui par défaut est la console
- **`cerr`** : flot lié à la *sortie d'erreur standard*, qui par défaut est la console.²⁵

24. Notons que pour obtenir de meilleures performances, un **tampon mémoire**, par lequel les données transitent, est par défaut associé à chaque flot.

25. Remarquons que `cerr` n'a pas de tampon mémoire: toutes les données introduites sont immédiatement acheminées vers la sortie d'erreur standard. Il n'est donc pas nécessaire, pour ce flot, de demander explicitement le vidage du tampon mémoire au moyen de la commande «flush».



Notion de persistance

Pour rendre **disponibles après son exécution** les données produites par un programme, l’affichage à l’écran (seule méthode vue jusqu’à présent) n’est naturellement pas adapté.

Il est par exemple nécessaire:

- 1) de rendre les données (résultant de l’exécution d’un programme) disponibles en tout temps pour l’utilisateur, et diffusables ou réutilisables par d’autres personnes ou d’autres programmes. Exemple: l’éditeur *XEmacs* rend «persistant» le fruit de vos efforts sous la forme d’un fichier texte, utilisé entre autre par le compilateur qui produira également un résultat réutilisable, sous la forme d’un fichier (binaire) exécutable²⁶.
- 2) dans le cas des programmes interactifs, permettre à l’utilisateur d’interrompre son travail (mettre momentanément fin à l’interaction avec le programme) et pouvoir le reprendre plus tard. Exemple: l’éditeur *XEmacs* qui vous permet de sauvegarder votre travail, et le poursuivre (reprendre) la semaine suivante²⁷.

Pour assurer une telle *persistance* des données informatiques, on utilise la plupart du temps le système de fichiers – mis à disposition par le système d’exploitation sous-jacent.

26. Dans ce cas, le format de «sauvegarde» des données (i.e. conventions de représentation, organisation) revêt une importance particulière: il doit soit être humainement compréhensible, soit correctement documenté ou respecter un standard, de manière à pouvoir être interprété par un autre logiciel.

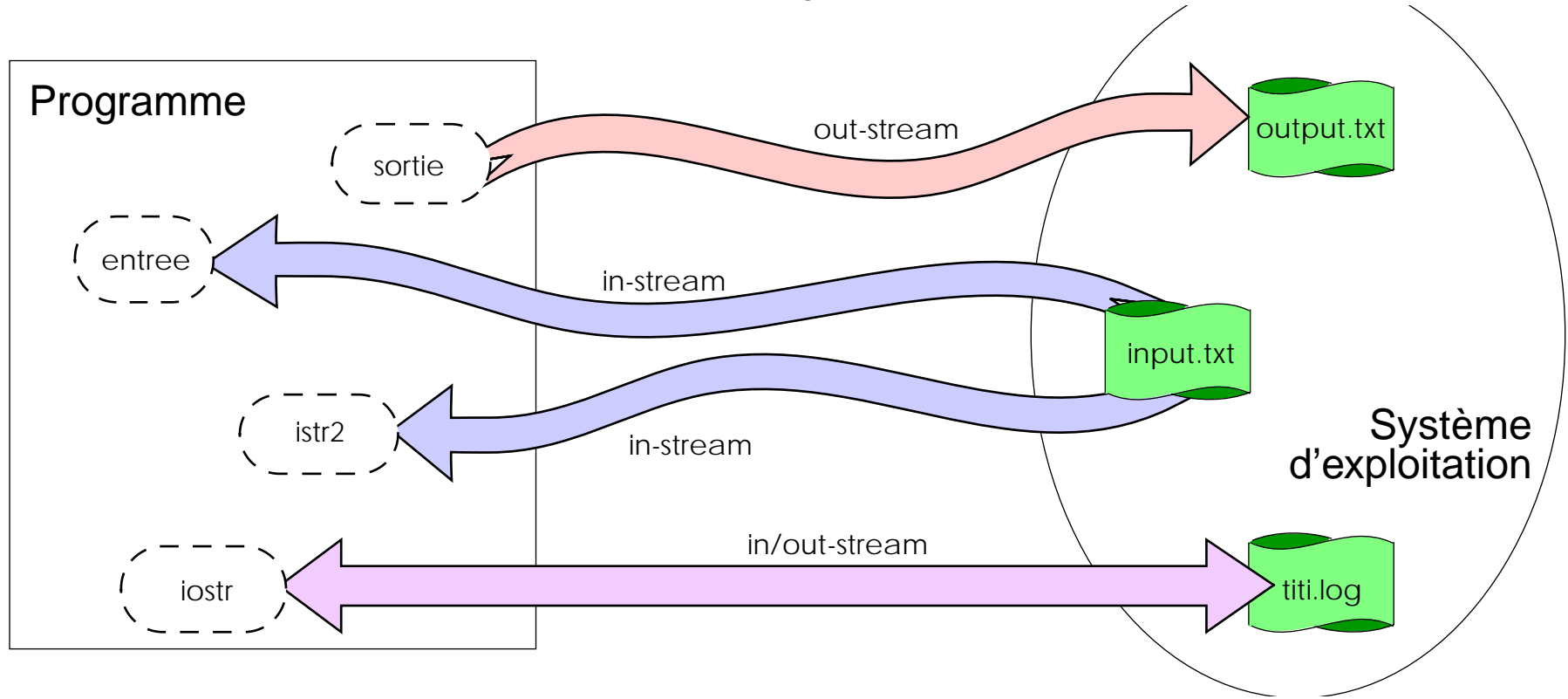
27. Dans ce cas le format de représentation des données importe peu, et il n’est en particulier pas nécessaire de l’explicitier (on parle de *format interne*).



Entrées sorties avec des fichiers (1)

Le lien entre les fichiers du système d'exploitation et le programme se fait en C++ par le biais des *streams*.

Un flot de données de type stream – orienté ou bidirectionnel – peut être *associé à un fichier*, et s'utilise de la même manière que les flots vers ou en provenance de la console (cin, cout, cerr) ou un string (ostringstream, istreamstringstream):





Entrées sorties avec des fichiers (2)

Pour pouvoir utiliser les streams liés aux fichiers²⁸,
il faut importer, en début de programme, les prototypes et
définitions contenus dans la librairie, au moyen de la directive d'inclusion:

```
#include <fstream>
```

Deux types (classes) [en particulier] sont alors disponibles:

- ⇒ **ifstream** (*input file stream*)
stream d'entrée associé à un fichier ouvert en mode *lecture*
(similaire à `cin`)

- ⇒ **ofstream** (*output file stream*)
stream de sortie, associé à un fichier ouvert en mode *écriture*
(similaire à `cout`).

28. Les streams de la librairie standard ne véhiculent que des données en mode texte. Pour lire/écrire des fichiers binaires, il faut soit utiliser des fonctions *ad hoc* spécifiques, soit étendre «manuellement» la bibliothèques de streams.



Entrées sorties avec des fichiers (3)

Le mécanisme général pour la mise en œuvre d'entrée-sorties via les fichiers est:

- (1) **Création** d'un stream (d'entrée ou de sortie),
par la déclaration d'une variable de type `ifstream` ou `ofstream`.
Exemple: `ifstream entree;`
`ofstream sortie;`
- (2) **Association** de la variable **avec un fichier** physique,
par l'appel de la fonction-méthode `open`, en respectant la syntaxe d'appel
définie dans le paragraphe concernant les vecteurs.
Exemple: `entree.open("input.txt");`
qui associe le stream `entree` avec le fichier nommé «input.txt»
(présent dans le répertoire courant).
- (3) **Utilisation** du stream: par des appels à des fonctions-méthodes, et l'utilisation
des opérateurs d'insertion («>>») et d'extraction («<<») de données.
- (4) **Fermeture** du stream,
au moyen de la fonction-méthode `close`
Exemple: `entree.close();`



Entrées sorties avec des fichiers (4)

Les opérations (1) et (2), à savoir la déclaration de la variable et son association avec un fichier, peuvent se réaliser en une seule étape.

L'initialisation lors de la déclaration se fait alors en spécifiant entre parenthèses le nom du fichier à lier au stream:

Exemple:

```
ifstream entree("input.txt");
```

On peut considérer que l'initialisation fait directement appel à la fonction `open`.



La fonction `open` admet comme argument une chaîne de caractères de type `"..."` (en fait un `char[]`): il n'est donc pas possible d'utiliser directement une chaîne de type `string`²⁹. Il faut dans ce cas demander la conversion en type `char[]` du `string`, en faisant appel à la fonction-méthode `c_str`:

Exemple:

```
string str("output.txt");  
ifstream entree2;  
ofstream sortie(str.c_str());  
entree2.open(str.c_str());
```

²⁹. En effet, s'il y a conversion implicite des chaînes de la forme `"..."` vers les *strings* (promotion), l'inverse n'est pas vrai.



Entrées sorties avec des fichiers (5)

L'utilisation dans le programme des variables de type *fstream* pour effectuer des entrées-sorties se fait de la même manière que pour les streams `cin` et `cout`, c'est-à-dire à l'aide des opérateurs d'insertion «>>» et d'extraction «<<»

Exemple:

```
ifstream entree("input.txt");  
ofstream sortie("output.txt");  
string mot; int n;  
  
entree >> mot >> n;  
sortie << "Le mot lu est: '" << mot << "' et le "  
      << "nombre est: '" << n << "'." << endl;
```

Remarque:

Une fonction utile pour tester si la lecture d'un fichier est terminée est la fonction-méthode `eof`.

```
if (entree.eof()) {  
    cout << "Fin du fichier" << endl;  
}
```



Exemple d'écriture dans un fichier

Le programme ci-dessous saisit une phrase via l'entrée standard (clavier), et l'écrit (un mot par ligne) dans un fichier texte nommé «phrase.txt»

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>

void main()
{
    string motSaisit;
    string nomFichier("phrase.txt");
    ofstream sortie(nomFichier.c_str());

    cout << "Entrez une phrase terminée par « . »" << endl;
    do
    {
        cin >> motSaisit;
        sortie << endl << motSaisit;
    } while (motSaisit != ".");
    sortie.close();
}
```



Exemple de lecture à partir d'un fichier

Le programme ci-dessous relit le fichier créé par le programme précédant, et affiche la phrase à l'écran, et remettant les mots sur une même ligne.

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>

void main()
{
    string motSaisit;
    ifstream entree("phrase.txt");

    while (!entree.eof())
    {
        entree >> motSaisit;
        cout << motSaisit << ' ';
    }
    cout << endl;
    entree.close();
}
```



Robustesse des accès aux fichiers

De même qu'il est conseillé de contrôler la conformité des valeurs entrées par un utilisateur, il est bon de vérifier que l'association d'un stream avec un fichier s'est correctement réalisée (i.e. que le fichier existe, est lisible, etc).

Pour cela, on peut «évaluer le stream», après l'appel à la fonction `open`. Si tout c'est bien passé, le résultat de cette évaluation sera `true`, et il sera `false` en cas de problème:

Exemple:

```
entree.open("fichier-inexistant");  
if (!entree) cout << "Oops, le fichier n'est pas lisible!" << endl;  
else << cout << "Ok, le fichier existe et est lisible!" << endl;
```

Plus précisément, un certain nombre de *prédicats* sont associés aux *streams*, et permettent d'en connaître l'état:³⁰

<code>bool good()</code>	<i>le stream est dans un état correct, la prochaine opération (lecture/écriture) sera un succès</i>
<code>bool eof()</code>	<i>la fin du stream à été atteinte</i>
<code>bool fail()</code>	<i>la prochaine opération (lecture/écriture) échouera</i>
<code>bool bad()</code>	<i>le stream est corrompu: des données ont été perdues (et la prochaine opération échouera)</i>

30. L'«évaluation» d'un *stream* revient en particulier à tester le prédicat `fail`.



Strings et Streams

Il peut parfois être utile, en vue d'effectuer des traitements particuliers, de disposer d'une **représentation sous forme de chaîne de caractères** des différentes variables d'un programme.

Une telle conversion de représentation est automatiquement réalisée lorsque l'on insère ces éléments dans un *stream* de sortie, tel que `cout`.

Mais peut-on récupérer ce qui est transmis dans le flot ?

A défaut de récupérer ce qui est effectivement transmis, on peut du moins en obtenir l'équivalent sous forme de string, en utilisant des strings hybrides, associés à des streams.

Ces entités hybrides sont désignées « **stringstream** ».

Pour pouvoir utiliser les *stringstream* dans un programme, il faut importer les prototypes et définitions contenus dans la librairie, au moyen de la directive d'inclusion:

```
#include <sstream>31
```

31. La version de `gcc` utilisée dans le cadre du cours utilise une ancienne représentation de ces entités, pas tout à fait compatible avec la nouvelle norme. Toutefois, une adaptation a été écrite pour le besoin du cours, et placée dans le répertoire de la librairie standard.



stringstream de sortie

Pour obtenir la *représentation alphanumérique* d'une variable, il faut utiliser un **stringstream de sortie**, dans lequel on insérera les données désirées (de la même manière qu'avec `cout`) avant d'en extraire l'équivalent sous forme de chaîne de caractère.

Le type (la classe) matérialisant de tels éléments est désigné: **ostringstream**, et l'extraction de la représentation chaîne s'obtient au moyen de la méthode:

```
string str()
```

Exemple:

```
#include <sstream>
...
string composeMessage(const int errno, const string& description)
{
    ostringstream ost;
    ost << "Erreur (n°" << errno << "): " << description;
    return ost.str();
}
```



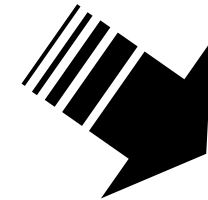

stringstream d'entrée

Il est également possible de réaliser des entrées depuis un `string` (au lieu du clavier, avec `cin`): il suffit d'initialiser un **stringstream d'entrée** avec la chaîne désirée, et d'utiliser l'opérateur d'extraction sur le *stream* ainsi obtenu.

Le type (la classe) utilisé est: **istringstream**.

Exemple:

```
#include <sstream>
...
// Extrait les mots d'un string, et les affiche à
// raison de un par ligne
void wordByWord(const string& str){
    istringstream ist(str);
    string s;
    while (ist >> s) {cout << s << endl;}
}
// en utilisant la fonction précédente:
wordByWord(composeMessage(5, "Fichier non trouvé"));
}
```



Erreur
(n°5):
Fichier
non
trouvé



Sorties formatées (1)

Un certain nombre de paramètres pour le format des sorties peuvent être explicitement spécifiés.

Ces paramètres sont de deux formes:

- ⇒ Soit des *manipulateurs*, appliqués à l'opérateur « << »
- ⇒ Soit des *options de configurations*, appliqués directement au stream de sortie

Manipulateurs:

Pour utiliser les manipulateurs, il faut au préalable importer les définitions du fichier `iomanip` au moyen de la directive d'inclusion:

```
#include <iomanip>
```

On utilise les manipulateurs très simplement, en les insérant directement dans le flot, à l'endroit désiré, exactement comme avec les données:

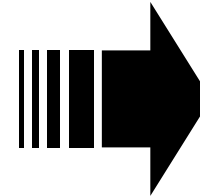
```
cout << «donnée» << «manipulateur» << «donnée» << ...
```



Sorties formatées (2)

- ➔ Longueur de la représentation: `setw(«taille»)`
la donnée qui suit ce manipulateur est affichée sur (au moins) *taille* caractères, avec (par défaut) un cadrage à droite, fort pratique lors de la représentation en colonnes des nombres.

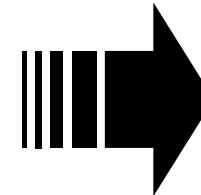
```
cout << setw(10) << "un:"
      << setw(5) << 1 << endl;
cout << setw(10) << "cent deux:"
      << setw(5) << 102 << endl;
cout << setw(10) << "moins 18:"
      << setw(5) << -18 << endl;
```



un:	1
cent deux:	102
moins 18:	-18

- ➔ Caractère de remplissage: `setfill(«char»)`
définit le caractère utilisé pour réaliser le remplissage lors d'un alignement (par défaut le caractère espace):

```
cout << setw(10) << "un:"
      << setfill('.') << setw(5) << 1;
cout << endl << setw(10) << "cent deux:"
      << setfill('.') << setw(5) << 102;
cout << endl << setw(10) << "moins 18:"
      << setfill('.') << setw(5) << -18;
```



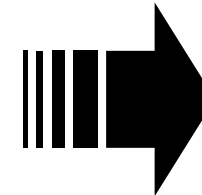
un:.....1
cent deux:..102
moins 18:..-18



Sorties formatées (3)

- ➔ Bases numérique: hex, dec, oct
les données numériques sont affichées ou lues en assumant une base de représentation différente de la base par défaut (décimale).

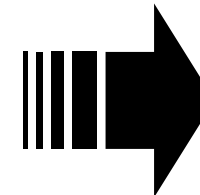
```
cout << "hexa:" << hex << 64 << endl;
cout << "octal:" << oct << 64 << endl;
cout << "decim:" << dec << 64 << endl;
```



```
hexa:40
octal:100
decim:64
```

- ➔ Précision en virgule flottante: setprecision(int)
définit le nombre de chiffres significatifs sur lequel se fera l'affichage des nombre en virgules flottantes (par défaut 6):

```
for (int i(2); i<6; ++i)
{
    cout << setprecision(i) << i
        << ' ' << 314.1592654 << endl;
}
```



```
2 3.1e+02
3 314
4 314.2
5 314.16
```



Options de configuration:

Les options définies pour les streams de sorties sont configurées à l'aide de la fonction (méthode) `setf`, selon la syntaxe:

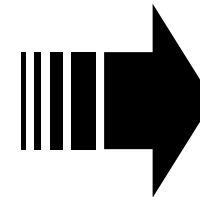
```
«flot».setf( ios::«option» );
```

Quelques options:



Infos sur la base de représentation: `showbase`
la base de représentation du nombre est affichée, en suivant les conventions de représentation des nombre littéraux dans les programmes C++:

```
cout.setf( ios::showbase );
cout << "hexa:" << hex << 64 << endl;
cout << "octal:" << oct << 64 << endl;
cout << "decim:" << dec << 64 << endl;
```



```
hexa:0x40
octal:0100
decim:64
```



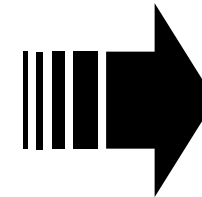
Sorties formatées (5)



Partie fractionnaire: `showpoint`

la partie fractionnaire des nombres en virgule flottante est explicitement représentée:

```
cout << 16.000 << endl;
cout.setf(ios::showpoint);
cout << 16.000 << endl;
cout << 16.100 << endl;
cout << 16 << endl;
```



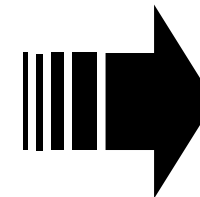
```
16
16.0000
16.1000
16
```



Représentation fixe/scientifique: `fixed`, `scientific`

détermine un affichage en mode fixe (traditionnel) ou scientifique (en puissance de 10, avec 1 nombre devant la virgule):

```
const float root(sqrt(200));
cout.setf(ios::fixed);
cout << root << endl;
cout.unsetf(ios::fixed);
cout.setf(ios::scientific);
cout << root << endl;
```



```
14.142136
1.414214e+01
```