ISIMA

PARTIE VI

Bibliothèque standard STL

Bruno Bachelet

Luc Touraille

Christophe Duhamel

Plan

- Historique
- Classes utilitaires
- Rappels
  - Espaces de nommage
  - Exceptions
- Principes généraux
  - Itérateurs
  - Foncteurs
- Conteneurs de la STL
  - Conteneurs de séquences
  - Conteneurs adapteurs
  - Conteneurs associatifs

Introduction

- Développement récurrent des mêmes composants
  - Structures de données: vecteur, pile, file, ensemble…
  - Algorithmes: chercher, trier, insérer, extraire…
- Éviter de réinventer la roue
  - Temps perdu (codage, débogage, optimisation)
  - Utiliser l'existant (bibliothèques)
- Tous les langages modernes ont une bibliothèque
  - Java, C#, Perl, Python
  - C++

Historique

- Concept de la généricité dès les années 70
- Alexander Stepanov
  - Premiers développements de la STL en 1979
  - Portage en ADA en 1987
  - Portage en C++ en 1992
- Normalisée en 1998
  - Avant: STL = *Standard Template Library*
  - Après: *Standard C++ Library*
  - Implication de HP puis SGI
  - Documentation: **`http://www.sgi.com/tech/stl/`**

Classes utilitaires *(1/2)*

- Chaîne de caractères
  - Limite du `char *` en C
    - Gestion de mémoire absente
    - Source classique de fuites mémoires
    - Pas de vrai type de données
    - Pas de support d'opérations simples (e.g. concaténation)
  - Classe `string`
    - Gestion interne de la mémoire (forme normale de Coplien)
    - Surcharge des opérateurs classiques (`+`, `<<`)
    - Entête `<string>`

Classes utilitaires *(2/2)*

- Exceptions
  - Contrôle primitif des erreurs en C
    - Utilisation du retour des fonctions
    - Variable globale (`errno`)
    - Prise en compte facultative de l'erreur
  - Classe `exception`
    - Bloc `try` / `catch`, mot-clé `throw`
    - Gestion obligatoire
    - Entête `<exception>`

Rappels: espaces de nommage *(1/3)*

- En anglais: *«namespaces»*

- Permettent d'organiser les composants en modules
  - Mais leur fonction est très limitée
  - Déterminent simplement une zone avec un nom
  - Aucune règle d'accessibilité (privé, publique…)

- Evitent les collisions de nom
  - Exemple: `std::vector` ≠ `boost::mpl::vector` ≠ `boost::fusion::vector`

- Permettent de grouper des fonctions et des classes
  - Interface d'une classe = méthodes mais aussi fonctions
    - Les opérateurs externes notamment
  - Appel de fonction résolu selon le *namespace* des arguments
    - Dans le cas d'une fonction surchargée dans plusieurs *namespaces*

Rappels: espaces de nommage *(2/3)*

- Mot-clé: **`namespace`**
  - **`namespace monespace { /* Code */ }`**
  - A rajouter sur tous les composants du module
  - Bien penser au **`.hpp`** et au **`.cpp`**

- Imbrication possible

```
namespace monespace {
  void f(void);
     ...
  namespace monsousespace {
    void g(void);
    ...
  }
}
```

Rappels: espaces de nommage *(3/3)*

- Utiliser un composant provenant d'un *namespace*
  - `monespace::f();`
  - `monespace::monsousespace::g();`
- Importer un symbole: déclaration «`using`»
  - `using std::vector;`
  - `vector<int> v;`
  - `std::string s;`
- Importer tous les symboles: directive «`using`»
  - `using namespace std;`
  - `vector<int> v;`
  - `string s;`
- Conseils pratiques
  - Ne jamais mettre d'importation dans un fichier entête (`.hpp`)
  - Préférer les déclarations aux directives dans un fichier d'implémentation (`.cpp`)
- Possibilité de créer des alias
  - `namespace fus = boost::fusion;`

Exceptions: utilité *(1/5)*

- Pour gérer les erreurs: les «exceptions»
- Mécanisme qui permet de séparer
  - La détection d'une erreur
  - La prise en charge de l'erreur
- Exemple: code de calcul + interface graphique
  - Le code de calcul détecte des erreurs
  - L'interface graphique est informée et affiche un message dans une fenêtre
- Permet de conserver une modularité
- Exception = objet qui est créé lorsqu'une erreur survient

Exceptions: transmission *(2/5)*

- Mot-clé «**`throw`**» dans une méthode
  - Au lieu de gérer l'erreur localement,
    l'erreur est transmise à la méthode appelante
  - On dit qu'une exception est «levée» / «lancée»
  - **`if (erreur) throw std::string("oops !");`**
  - Interruption de la suite normale du code

- L'objet transmis contient des renseignements sur l'erreur

Exceptions: détection *(3/5)*

- Pour détecter une exception…
- Il faut surveiller
  - Bloc «`try`» définit une zone de surveillance
  - ```
    try {
     // Code susceptible de lancer une exception
    }
    ```
  - `throw` ⇒ suspension de l'exécution normale
- Il faut rattraper et traiter les exceptions
  - Bloc «`catch`» décrit le traitement d'une exception
  - `catch(const exception & e) { /* Gestion exception */ }`
  - Reprise de l'exécution suspendue par «`throw`»
- Plusieurs «`catch`» peuvent se succéder
  - Le premier qui correspond au type de l'erreur sera exécuté
  - Donc placement des «`catch`» du plus spécifique au moins spécifique
  - ```
    catch(const MonException & e) { ... }
    catch(const std::exception & e) { ... }
    ```

Exceptions: détection *(4/5)*

- Obligation de rattraper toutes les exceptions potentielles
  - Gestion immédiate: «**catch**» dans la méthode
  - Possibilité de «renvoyer» à la méthode appelante avec «**throw**»

- Exemple

```
void lectureFichier(const std::string & nom)
{ /* Lecture des données d'un fichier */ }

void traitement(void) {
 try {
  lectureFichier("mon_fichier.dat");
  // Code susceptible de lever un objet «exception»
 }

 catch(const ExceptionFichier & e)
 { std::cout << "Erreur ouverture fichier !" << std::endl; }

 catch(const std::exception & e)
 {std::cout << "Erreur dans les données !" << std::endl; }

 // Toujours exécuté, même si une exception s'est produite
 std::cout << "Fin du traitement << std::endl;
}
```

Exceptions: classes standards *(5/5)*

- Si possible, utiliser une classe standard
  - **`invalid_argument`**, **`out_of_range`**, **`overflow_error`**...

- Sinon, créer ses classes d'exceptions
  - Spécialiser la classe de base **`std::exception`**
    ou une de ses sous-classes
  - Encapsuler des informations sur l'erreur
  - Eventuellement redéfinir la méthode **`what()`**
    pour retourner un message décrivant l'erreur

Principes de la STL

- Séparation du conteneur et des algorithmes
  - Principe: «petit mais costaud»
    - Classes spécialisées
    - Uniquement les méthodes essentielles
- Stratégies d'accès / parcours aux conteneurs
  - Impossible de toutes les prévoir
  - Séparer ces stratégies et les conteneurs $\Rightarrow$ itérateurs
- Algorithmes sur les conteneurs
  - Impossible de tous les prévoir
  - Séparer les algorithmes et les conteneurs
  - Algorithmes «à trous» $\Rightarrow$ foncteurs

Itérateurs *(1/2)*

- Pour parcourir une collection: l'itérateur
  - Pointe sur un élément d'une collection
  - Permet de passer d'un élément à un autre
- Plusieurs itérateurs ⇒ parcours simultanés
- API indépendante de la véritable structure de données
- Différentes stratégies d'accès et de parcours
  - Accès en lecture ou lecture/écriture
  - Sens de parcours
- Implémentation d'un itérateur
  - Il doit souvent connaître l'implémentation de son conteneur
  - Deux possibilités
    - Classe amie
    - Classe imbriquée
  - Dans les 2 cas, il apparaît comme un type imbriqué

Itérateurs *(2/2)*

- Indépendants du conteneur sous-jacent
  - Il peut même ne pas y avoir de conteneur
    - Séquences générées à la volée, lecture/écriture dans un flux...
  - Utilisation homogène quelque soit le conteneur
- Permettent de représenter des sous-séquences
- Par rapport à un parcours avec index
  - Beaucoup plus efficace pour certaines structures de données
    - Exemples: liste, arbre
  - Différents types de parcours possibles sur une même séquence
    - Exemples: parcours préfixe, infixe et postfixe
  - Modification de la séquence en cours d'itération possible

Itérateurs C++ *(1/3)*

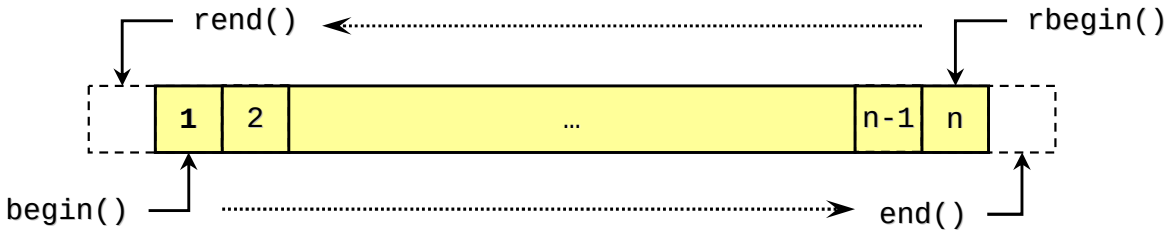
- Fonctionnalités
  - Forme normale de Coplien
    - Constructeur par défaut
    - Constructeur par copie
    - Opérateur d'affectation
    - Destructeur
  - Opérateurs de comparaison **!=** et **==**
    - Attention: ne pas utiliser l'opérateur **<**
  - Opérateur de déréférenciation *****
  - Opérateurs d'incrémentation **++** (pré- et post-fixé)

- Manipulation identique à celle des pointeurs
  $\Rightarrow$ tableaux et conteneurs manipulables indifféremment

Itérateurs C++ *(2/3)*

- 4 types d'itérateur par conteneur
  - Types imbriqués
    - *conteneur*`::iterator`
    - *conteneur*`::const_iterator`
    - *conteneur*`::reverse_iterator`
    - *conteneur*`::const_reverse_iterator`
  - **`const`** = accès en lecteur seule
  - **`reverse`** = parcours inversé, dernier → premier

- Balises fournies par le conteneur



  - Parcours premier → dernier: **`begin()`**, **`end()`**
  - Parcours dernier → premier: **`rbegin()`**, **`rend()`**

Itérateurs C++ *(3/3)*

- Exemples d'utilisation
  - Parcours d'un conteneur
    - ```
      Conteneur c;
      …
      Conteneur::iterator it;

      for (it = c.begin(); it != c.end(); ++it)
       do_something(*it);
      ```
  - Valeur de retour de l'algorithme «**find**»
    - Permet une opération immédiate sur l'objet
    - Complexité de l'accès au suivant: *O(1)*
    - ```
      Conteneur c;
      …
      Conteneur::iterator it;
      it = find(c.begin(),c.end(),elt);
      do_something(*it);
      ```

Concepts d'itérateurs *(1/3)*

- Tous les itérateurs ne fournissent pas les mêmes fonctionnalités
  - de parcours
    - Exemple: impossible de reculer un itérateur sur une liste simplement chaînée
  - de manipulation de l'élément
    - Exemple: impossible de modifier un élément
- «Concepts» pour spécifier différents types d'itérateurs
- Important pour écrire des algorithmes
  - Documenter les fonctionnalités requises
  - Proposer des implémentations spécialisées pour certains itérateurs

Concepts d'itérateurs *(2/3)*

- **`InputIterator`**
  - Accès à l'élément en lecture, avancée dans la séquence
- **`OutputIterator`**
  - Accès à l'élément en écriture, avancée dans la séquence
- **`ForwardIterator`**
  - **`InputIterator`** + **`OutputIterator`**
- **`BidirectionalIterator`**
  - **`ForwardIterator`** + recul dans la séquence
- **`RandomAccessIterator`**
  - **`BidirectionalIterator`** + «saut» dans la séquence

Concepts d'itérateurs *(3/3)*

- Exemple

```
template <typename InputIterator, typename OutputIterator>
OutputIterator copy(InputIterator first, InputIterator last,
                    OutputIterator result)
{
  while (first != last) *result++ = *first++;
  return result;
}
```

- Exemple de spécialisation: **`std::advance(it,n)`**
  - **`it`** doit modéliser **`InputIterator`**
  - Si **`it`** modélise **`BidirectionalIterator`**, **`n`** peut être négatif
  - Temps constant si **`it`** modélise **`RandomAccessIterator`**
    - **`it += n;`**
  - Temps linéaire sinon
    - **`if (n > 0)`**
      `while (n-- > 0) ++it;`

Foncteurs *(1/4)*

- Représentation d'une fonction par un objet
  - Permet l'écriture d'algorithmes «à trous»
  - A l'exécution, on passe un foncteur
  - Le foncteur comble les trous de l'algorithme
  - Utilisation du design pattern *«patron de méthode»*

- Intérêts
  - Paramétrisation des algorithmes
    - D'autres solutions sont possibles (cf. design patterns)
  - Possibilité d'avoir un état interne
    - Attributs utiles pour mémoriser l'état et les paramètres

Foncteurs *(2/4)*

- Exemple: algorithme de tri

```
template <typename T>
void trier(vector<T> & v) {
 for (int i = 0; i < v.size()-1; ++i)
  for (int j = i+1; j < v.size(); ++j)
   if (v[j] < v[i])
   { T tmp = v[i]; v[i] = v[j]; v[j] = tmp; }
}
```

- Pas très flexible
  - `T` doit implémenter l'opérateur `<`
  - Comment faire un tri décroissant ?

Foncteurs *(3/4)*

- Solution: passer la relation d'ordre en paramètre

- Algorithme de tri

```
template <typename T,typename R>
void trier(vector<T> & v, const R & rel) {
 for (int i = 0; i<v.size()-1; ++i)
  for (int j = i+1; j<v.size(); ++j)
   if (rel.estAvant(v[j],v[i]))
   { T tmp = v[i]; v[i] = v[j]; v[j] = tmp; }
}
```

- Relation d'ordre (le «visiteur»)
  - ```
    template <typename T> class RelationInf {
     public: bool estAvant(const T & a,const T & b)
     const { return x; }
    };
    ```
  - Ordre croissant: *x* = `a < b`
  - Ordre décroissant: *x* = `a > b`
  - Exemple d'appel: `trier(v,RelationInf<int>());`
    ```

Foncteurs *(4/4)*

- Foncteur = objet qui a l'apparence d'une fonction

⇒ Surcharge de l'opérateur `()`

- Opérateur `()`
  - Arité spécifiée par le concepteur
    - Peut donc remplacer l'opérateur `[]` (e.g. une matrice)
  - Syntaxe: *type_retour* `operator() (`*paramètres*`)`

- Relation d'ordre

```
template <typename T> class Inferieur {
 public: bool operator () (const T & a,const T & b) const
 { return (a<b); }
};
```

- Algorithme de tri

```
template <typename T,typename R>
void trier(vector<T> & v, const R & rel) {
 for (int i = 0; i<v.size()-1; ++i)
  for (int j = i+1; j<v.size(); ++j)
   if (rel(v[j],v[i]))
   { T tmp = v[i]; v[i] = v[j]; v[j] = tmp; }
}
```

Exemples de foncteurs *(1/2)*

- Exemple: comparateur
  - Principe
    - Pas d'état interne
    - Opérateur `()` prenant les deux objets à comparer
  - Code foncteur

```
class Comparateur {
 public:
  bool operator() (const A & a1, const A & a2) const
  { return (a1.val() < a2.val()); }
};
```

  - Code appel

```
Comparateur cmp;
A a1, a2;
std::cout << cmp(a1,a2) << std::endl;
```

Exemples de foncteurs *(2/2)*

- Exemple: générateur de nombres pairs
  - Principe
    - Etat interne conservé par les attributs
    - Opérateur `()` sans paramètres pour la génération des nombres
  - Code foncteur

```
class GenerateurPair {
  protected: int val;
  public:
   GenerateurPair(void) : val(0) {}
   int operator() (void) { val+=2; return val; }
};
```

  - Code appel
    - `GenerateurPair gen;`
    - `std::cout << gen() << ' ' << gen() << std::endl;`

Foncteurs standards

- Classes de base
  - Exposent les types des paramètres et de retour
  - `std::unary_function<Arg, Result>`
  - `std::binary_function<Arg1, Arg2, Result>`

- Foncteurs prédéfinis
  - Arithmétiques: addition, soustraction, multiplication, division...
    - `plus<T>`, `minus<T>`, `multiplies<T>`, `divides<T>`...
  - Comparaisons: inférieur, supérieur, égal...
    - `less<T>`, `less_equal<T>`, `equal_to<T>`...
  - Opérateurs logiques: et, ou, non
    - `logical_and<T>`, `logical_or<T>`...
  - Utilisent simplement les opérateurs correspondants

Manipulation de foncteurs

- Création de foncteur
  - A partir d'une fonction
    - `ptr_fun(pointeur_de_fonction)`
  - A partir d'une méthode
    - `mem_fun`/`mem_fun_ref(pointeur_de_methode)`

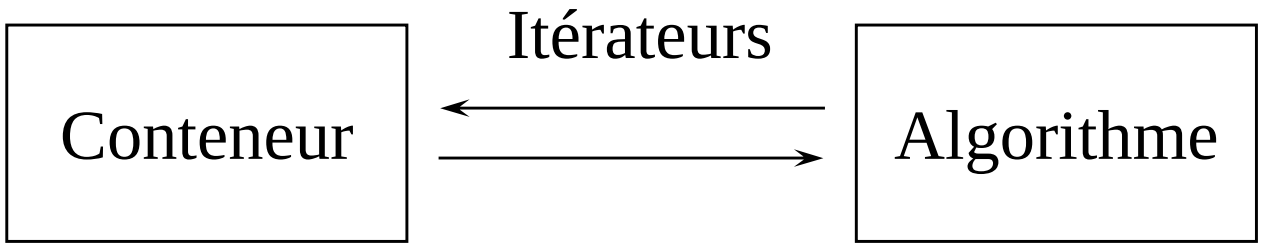
- Adaptation de foncteur
  - Négation: `not1`, `not2`
  - Fixation d'un paramètre: `bind1st`, `bind2nd`

- Exemple: compter les chaînes non vides dans un vecteur

```
vector<string> v;
...
int nbNonVides =
    count_if(v.begin(), v.end(),
             not1( mem_fun_ref(&string::empty) ) );
```

Séparation conteneur-algorithmes

- Manipulation globale du conteneur
  - Trois entités
    - Un conteneur pour le stockage des objets
    - Des itérateurs pour les accès aux objets
    - Des algorithmes pour la manipulation des objets
  - Fonctionnement conjoint
    - Les algorithmes opèrent sur le conteneur via les itérateurs



Conteneurs de la STL *(1/3)*

- Trois grandes classes de conteneurs
  - Séquences élémentaires
    - Vecteur, liste, file à double entrée
  - Adaptations des séquences élémentaires
    - Pile, file, file à priorité
  - Conteneurs associatifs
    - Ensemble avec/sans unicité
    - Association avec clé unique/multiple

- Remarques
  - Tous définis dans le namespace «`std`»
  - Utilisation intensive de la généricité
    - Type de données
    - Allocateur de mémoire
    - Comparateur
    - …

Conteneurs de la STL *(2/3)*

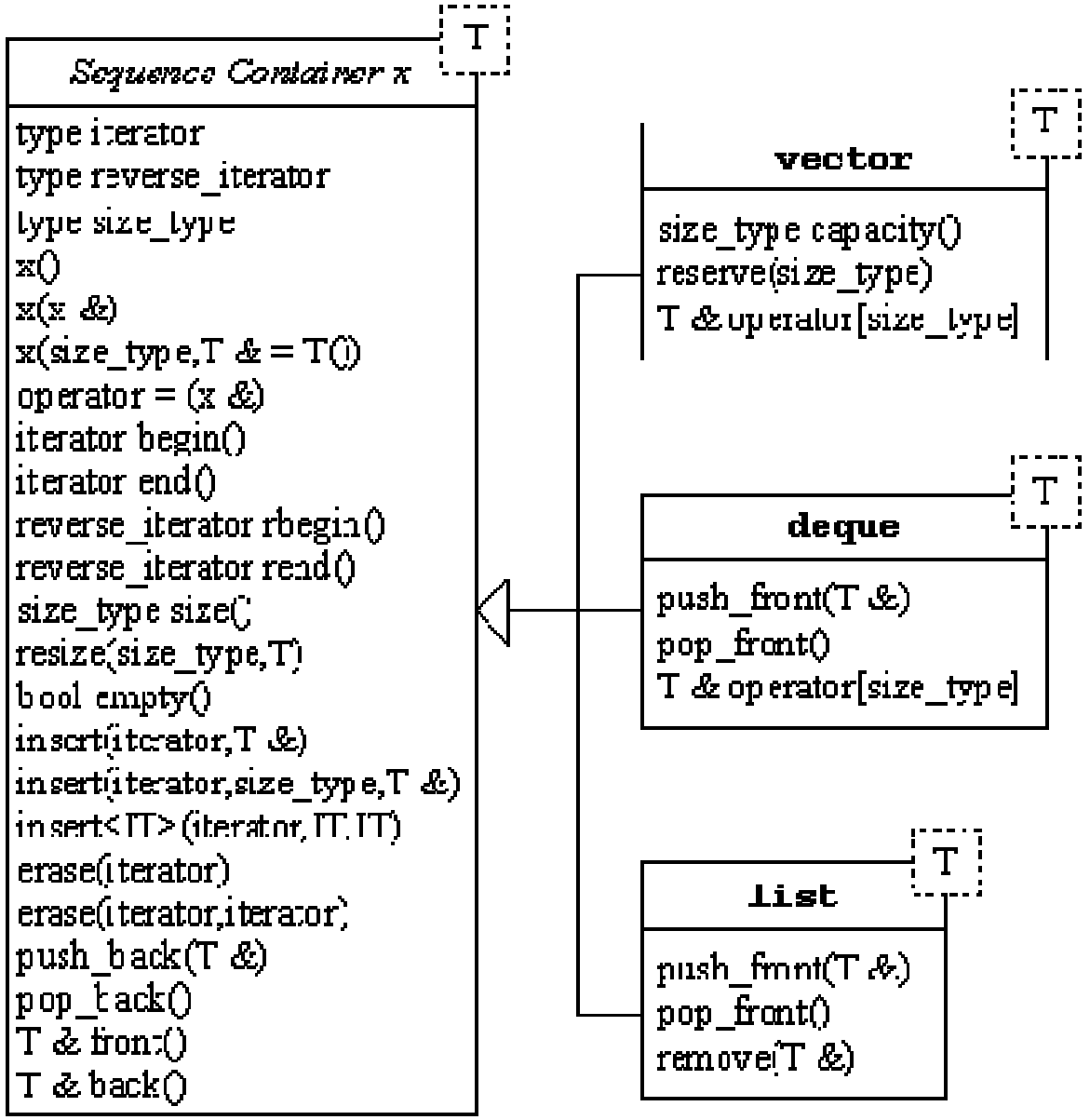
- Choix du conteneur
  - Selon les fonctionnalités disponibles
    - Un morceau d'API commun
    - Un morceau d'API spécifique à chaque conteneur
  - Selon la complexité des opérations
    - Opérations en *O(1)*, *O(log n)*, *O(n)*
  - Critères de choix
    - Chercher le conteneur le plus «naturel» pour l'algo voulu
    - Analyser la complexité du traitement
    - Chercher le conteneur offrant la meilleure complexité globale

Conteneurs de la STL *(3/3)*

- Fonctionnalités communes
  - Forme Normale de Coplien
  - Dimensionnement automatique de la capacité
    - Exemple du vecteur
      - Lorsque l'insertion d'un élément viole la capacité
      - Augmentation de la capacité
  - Balises des itérateurs
  - Quelques méthodes
    - `size_t C::size() const     // Nombre d'éléments`
    - `size_t C::max_size() const // Nombre max d'éléments`
    - `bool   C::empty() const    // Est vide ?`
    - `void   C::swap(C & cnt)    // Echange de contenu`
    - `void   C::clear()          // Vide le conteneur`

Conteneurs en séquences *(1/2)*

- Vecteur (**`vector`**)
- Liste (**`list`**)
- File à double entrée (**`deque`**)



Conteneurs en séquences *(2/2)*

- Méthodes communes
  - Insertion (avant la position indiquée)
    - `void S::insert(S::iterator pos,T & elt)`
    - `void S::insert(S::iterator pos,int nb,T & elt)`

    - ```
      template <typename InputIterator>
      void S::insert(S::iterator pos,
                     InputIterator debut,InputIterator fin)
      ```

  - Suppression
    - `S::iterator S::erase(S::iterator pos)`
    - `S::iterator S::erase(S::iterator debut,S::iterator fin)`

  - Accès / ajout en tête et fin
    - `void      S::push_back(const T & elt)`
    - `void      S::pop_back()`
    - `      T & S::front()`
    - `const T & S::front() const`
    - `      T & S::back()`
    - `const T & S::back() const`
      ```

Vecteur

- Tableau qui se redimensionne automatiquement
  - Eléments contigus en mémoire (compatibilité avec les tableaux C)

- Efficacité
  - \+ Accès direct aux éléments (opérateur `[]`) en *O(1)*
  - \+ Ajout / suppression en fin en *O(1)* (amorti)
  - \- Ajout / suppression ailleurs en *O(n)*

- Utilisation
  - Entête: `<vector>`
  - Déclaration: `std::vector<T> v;`
  - Possède un autre paramètre template facultatif
    - Allocateur, gestionnaire de la mémoire interne

- Méthodes spécifiques
  - Contrôle capacité
    - `int  V::capacity() const // Capacité actuelle du vecteur`
    - `void V::reserve(int nb)  // Ajustement de la capacité`
  - Accès par index aux éléments
    - `X &       V::operator[](int idx)       // Lecture/écriture`
    - `const X & V::operator[](int idx) const // Lecture seule`

Liste

- Liste doublement chaînée
- Efficacité
  - \+ Ajout / suppression n'importe où en *O(1)*
  - \- Pas d'accès direct aux éléments
- Utilisation
  - Entête: `<list>`
  - Déclaration : `std::list<T> l;`
  - Possède aussi un paramètre facultatif pour l'allocateur
- Méthodes spécifiques
  - Ajout / suppression en tête
    - `void L::push_front(const T & elt)`
    - `void L::pop_front()`
  - Suppression d'un élément
    - `void L::remove(const T & elt)`
  - Autres algorithmes spécifiques
    - `sort`, `merge`, `splice`, `remove_if`, `unique`…

File à double entrée

- Similaire au vecteur sauf
  - Opérations en tête possibles
  - Contiguïté des éléments non garantie

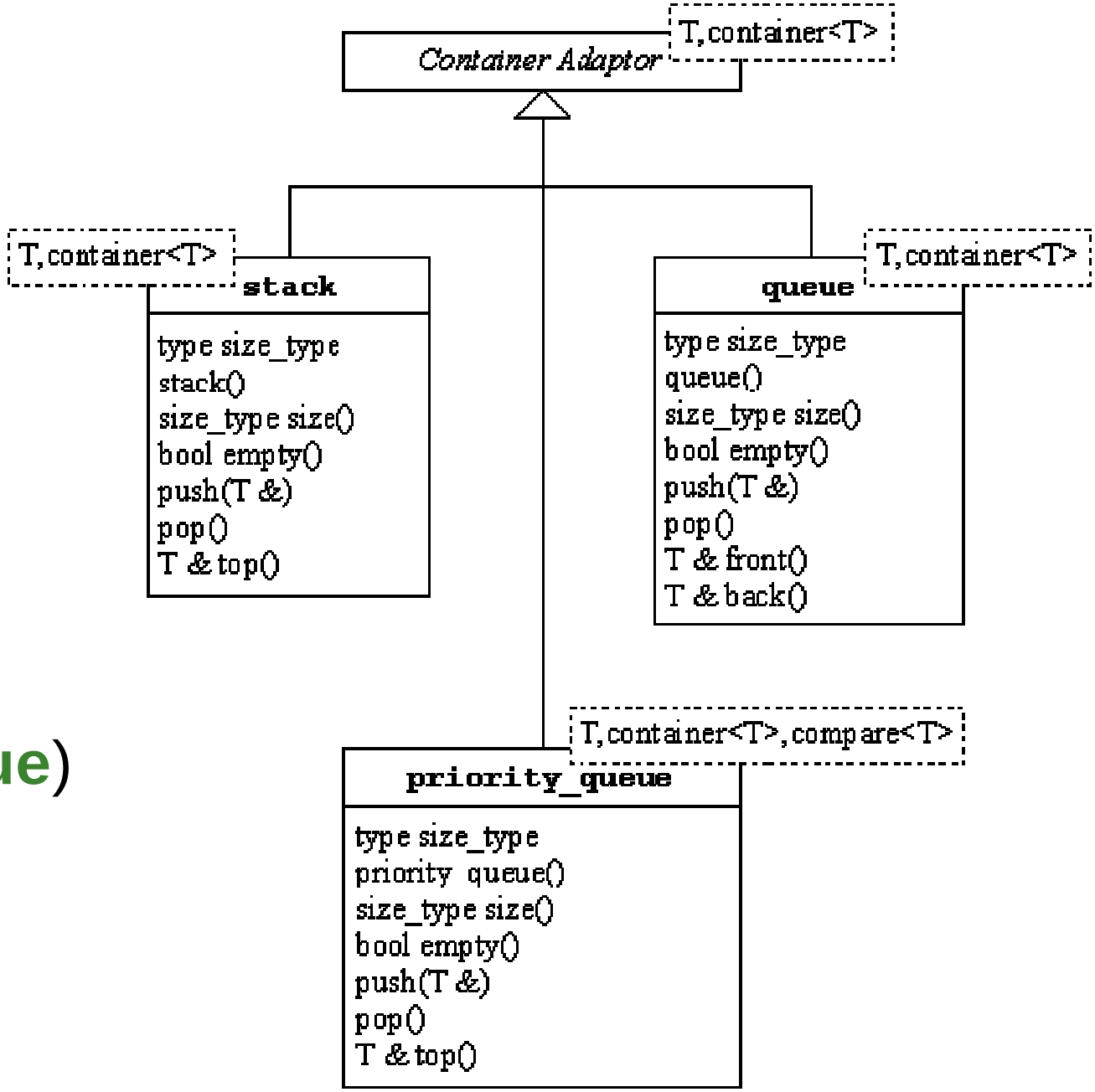
- Efficacité
  - \+ Accès direct aux éléments (opérateur `[]`) en *O(1)*
  - \+ Ajout/suppression en tête et fin en *O(1)* (amorti)
  - \- Ajout/suppression ailleurs en *O(n)*

- Utilisation
  - Entête: `<deque>`
  - Déclaration: `std::deque<T> d;`
  - Possède aussi un paramètre facultatif pour l'allocateur

- Méthodes spécifiques
  - Pas de contrôle de capacité
  - Ajout / suppression en tête
    - `void D::push_front(const T & elt)`
    - `void D::pop_front()`
  - Accès par index aux éléments
    - `X &       D::operator[](int idx)`
    - `const X & D::operator[](int idx) const`

Conteneurs adapteurs *(1/3)*

- Pile (**`stack`**)
- File (**`queue`**)
- File à priorité (**`priority_queue`**)

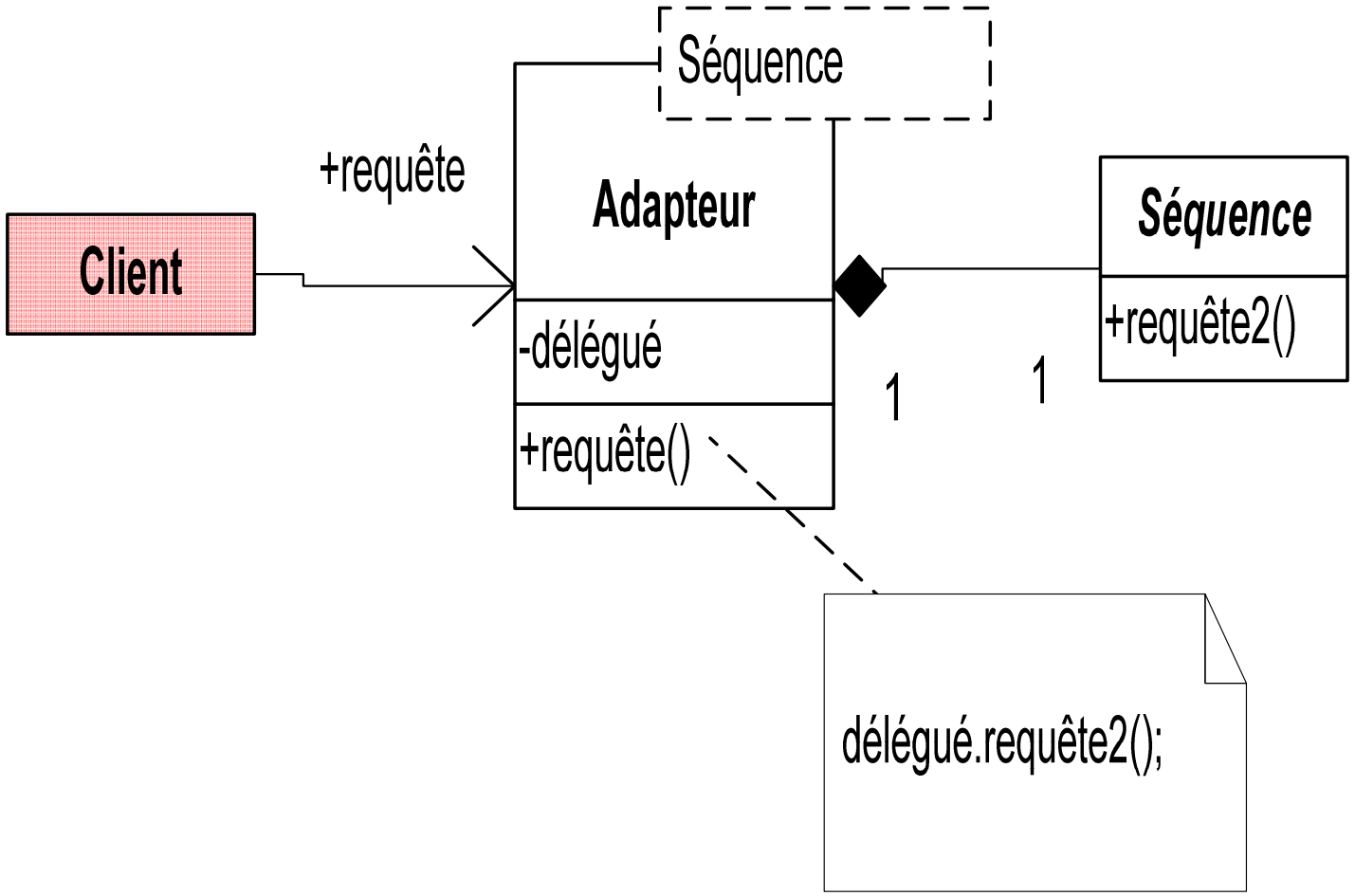


Conteneurs adapteurs *(2/3)*

- Définis à partir d'un conteneur en séquence
  - Celui-ci est paramétrable
  - Utilise la structure de données du conteneur
- Propose une API spécifique
  - Celle-ci est réduite
  - Pas d'itérateurs
- Mécanisme de délégation
  - Agrégation du conteneur
  - Délégation des opérations au conteneur

Conteneurs adapteurs *(3/3)*

- Mécanisme de délégation



Pile

- Accès seulement au sommet de la pile
  - Pas de possibilité de voir les éléments empilés

- Utilisation
  - Entête: `<stack>`
  - Déclaration
    - `std::stack<T> s; // Conteneur par défaut = deque<T>`
    - `std::stack<T,std::vector<T> > s;`

- Méthodes spécifiques
  - Empilement / dépilement
    - `int  S::push(const T & elt)`
    - `void S::pop()`
  - Accès au sommet
    - `T &       S::top()`
    - `const T & S::top() const`
  - Comparaison de piles (car impossible de voir l'empilement)
    - `bool operator==(const stack<T> & s1,const stack<T> & s2)`
    - `bool operator<(const stack<T> & s1,const stack<T> & s2)`

File

- Structure FIFO (*First In First Out*)
  - Ajout en fin, retrait en tête
  - Pas de possibilité de voir les élément dans la file

- Utilisation
  - Entête: **`<queue>`**
  - Déclaration
    - **`std::queue<T> q; // Conteneur par défaut = deque<T>`**
    - **`std::queue<T,std::list<T> > q;`**
    - Ne peut pas utiliser **`std::vector`** (n'a pas **`pop_front()`**)

- Méthodes spécifiques
  - Ajout / retrait
    - **`int  Q::push(const T & elt)`**
    - **`void Q::pop()`**
  - Accès aux extrémités
    - **`front()`**, **`back()`**
  - Comparaison de files
    - Opérateurs **`==`** et **`<`**

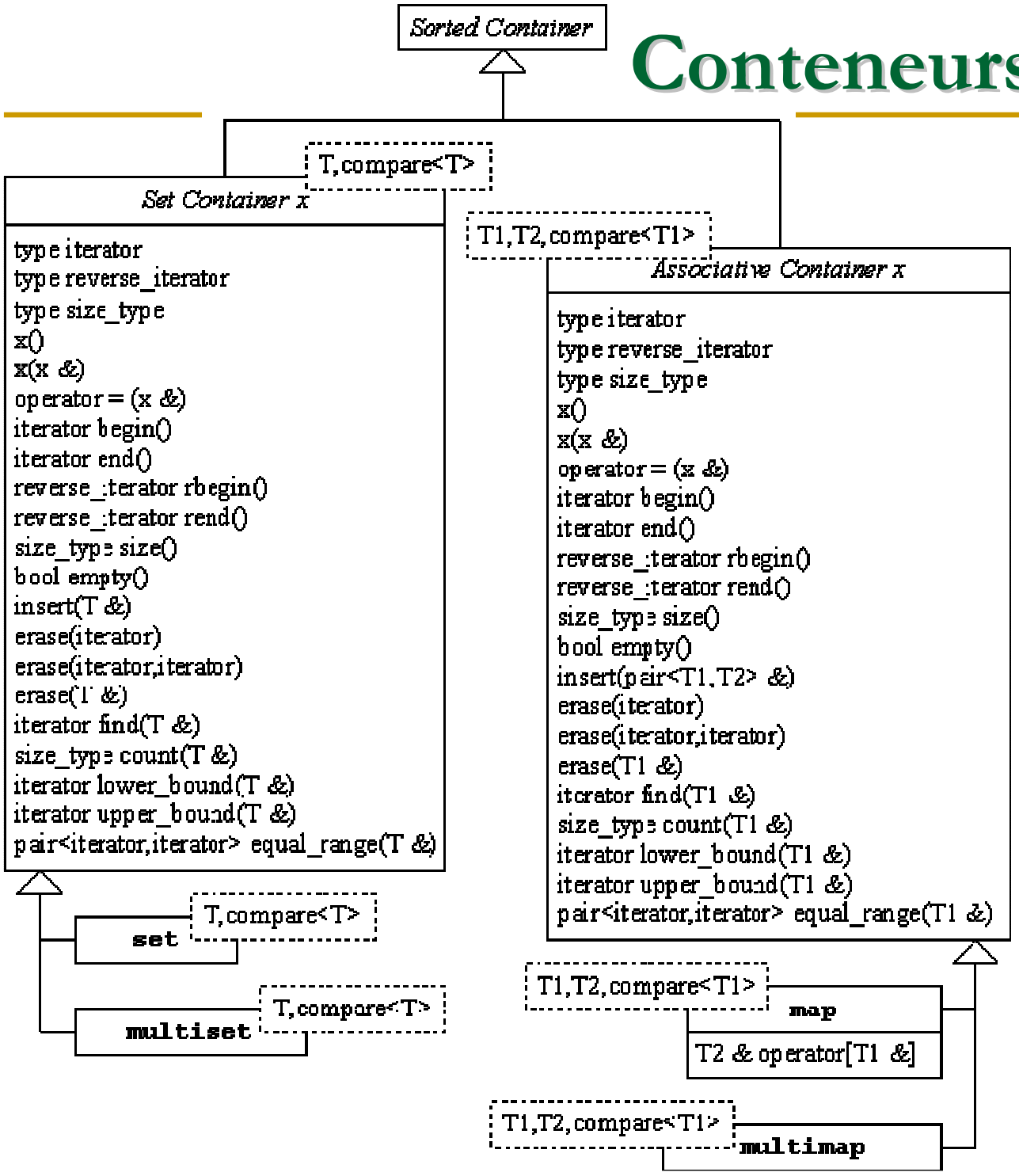
File à priorité

- File d'attente à priorité
  - Ajout en fin, retrait de l'élément le plus «grand» ⇒ foncteur comparateur
  - Pas de possibilité de voir les éléments dans la file

- Utilisation
  - Entête: **<queue>**
  - Déclaration
    - ```
      std::priority_queue<T> p; // Conteneur par défaut = vector<T>
                                // Comparateur par défaut = less<T>
      ```
    - ```
      std::priority_queue<T,std::deque<T>,std::greater<T> > q;
      ```
    - Ne peut pas utiliser **std::list** (n'a pas **operator[]**)

- Méthodes spécifiques
  - Constructeur (qui attend un objet comparateur)
    - ```
      P::P(Comparateur & c = Comparateur())
      ```
  - Ajout / retrait
    - ```
      int  P::push(const T & elt)
      ```
    - ```
      void P::pop()
      ```
  - Accès au plus grand
    - ```
      T &       P::top()
      ```
    - ```
      const T & P::top() const
      ```
      ```

Conteneurs associatifs *(1/5)*



- Ensemble avec unicité (`set`)
- Ensemble sans unicité (`multiset`)
- Association avec unicité (`map`)
- Association sans unicité (`multimap`)

Association *(1/2)*

- Principe de l'association
  - Associer une clé à chaque élément
  - On accède à l'élément par sa clé

- Structure utilisée pour l'association: **`std::pair`**

```
template <typename T1,typename T2>
struct pair {
 T1 first;
 T2 second;
 pair(void) {}

 pair (const T1 & t1,const T2 & t2)
 : first(t1), second(t2) {}
};
```

Association *(2/2)*

- Création d'une paire
  - `p = pair<int,double>(13,27.14);`
  - Obligé d'écrire les types paramètres de la paire
- Pour éviter d'écrire les types: `std::make_pair()`

```
template <typename T1, typename T2>
pair<T1,T2> make_pair(const T1 & cle,
                      const T2 & elt)
{ return pair<T1,T2>(cle,elt); }
```

- Utilise le polymorphisme statique
  - `p = make_pair(13,27.14);`

Conteneurs associatifs *(2/5)*

- Conteneurs associatifs triés sur la clé
  - Nécessitent une relation d'ordre sur les clés
    ⇒ foncteur comparateur
  - Représentation interne typique: RB-tree

- Ensembles
  - `set` ou `multiset`
  - L'élément contient sa clé

- Associations
  - `map` ou `multimap`
  - Les éléments stockés sont des associations clé-valeur
  - `first` = clé
  - `second` = valeur associée

- Clé unique ou multiple ?
  - Unicité ⇒ `set` ou `map`
  - Multiplicité ⇒ `multiset` ou `multimap`

Conteneurs associatifs *(3/5)*

- Attention !
  - `set` et `multiset` possèdent un seul paramètre: `set<V>`
  - `map` et `multimap` possèdent deux paramètres: `map<K,V>`
  - Pour `set` et `multiset`, `T` = `V`
  - Pour `map` et `multimap`, `T` = `pair<K,V>`

- Méthodes communes
  - Constructeurs
    - `A::A(void)`
    - `template <typename InputIterator>`
      `A::A(InputIterator deb,InputIterator fin)`
    - Paramètre facultatif: le comparateur de clés

Conteneurs associatifs *(4/5)*

- Méthodes communes
  - Insertions
    - `pair<A::iterator,bool> A::insert(const T & elt)`
    - `A::iterator A::insert(A::iterator pos,const T & elt)`
    - `template <typename InputIterator> void A::insert(InputIterator deb, inputIterator fin)`
  - Suppressions
    - `void A::erase(A::iterator pos)`
    - `void A::erase(A::iterator deb,A::iterator fin)`
    - `A::size_type A::erase(const A::key_type & cle)`

Conteneurs associatifs *(5/5)*

- Méthodes communes
  - Accès aux éléments
    - `A::size_type A::count(const A::key_type & cle) const`
      - Nombre d'éléments ayant la clé fournie
    - `A::iterator A::find(const A::key_type & cle) const`
      - Itérateur sur le premier élément ayant la clé fournie ou `A::end()` sinon
    - `A::iterator`
      `A::lower_bound(const A::key_type & cle) const`
      - Itérateur sur le 1er élément dont la clé n'est pas inférieure à celle fournie
    - `A::iterator`
      `A::upper_bound(const A::key_type & cle) const`
      - Itérateur sur le 1er élément dont la clé est supérieure à celle fournie
    - `pair<A::iterator,A::iterator>`
      `A::equal_range(const A::key_type & cle) const`
      - Fournit un encadrement des éléments ayant la clé fournie

Ensembles *(1/2)*

- Conteneur trié d'éléments contenant leur propre clé

- Utilisation
  - Entêtes: **`<set>`** / **`<multiset>`**
  - Déclaration
    - **`std::set<V> s; // Comparateur par défaut = less<V>`**
    - **`std::set<V,greater<V> > s;`**
    - Possède aussi un paramètre facultatif pour l'allocateur

- Méthodes spécifiques
  - Insertion dans «**`set`**»
    - **`pair<S::iterator,bool> S::insert(const V & elt)`**
  - Insertion dans «**`multiset`**»
    - **`M::iterator M::insert(const V & elt)`**

Ensembles *(2/2)*

- Méthodes spécifiques
  - Fonctions ensemblistes (entête **<algorithm>**)
    - Entre deux ensembles *[deb1,fin1)* et *[deb2,fin2)*
    - Ensembles décrits par des itérateurs

```
template <typename InputIterator1,typename InputIterator2,
          typename OutputIterator>
OutputIterator set_union(InputIterator1 deb1,
                         InputIterator1 fin1,
                         InputIterator2 deb2,
                         InputIterator2 fin2,
                         OutputIterator res)
```

    - **InputIterator1**: type des itérateurs du 1er ensemble
    - **InputIterator2**: type des itérateurs du 2nd ensemble
    - **OutputIterator**: type des itérateurs pour l'ensemble résultat

    - Exemples
      - **bool includes(***deb1,fin1,deb2,fin2***)**
      - **OutputIterator set_intersection(***deb1,fin1,deb2,fin2,res***)**
      - **OutputIterator set_difference(***deb1,fin1,deb2,fin2,res***)**
      - **OutputIterator set_symmetric_difference(***deb1,fin1,deb2,fin2,res***)**

Associations *(1/2)*

- Conteneur trié d'éléments associés à une clé
- Utilisation
  - Entêtes: `<map>` / `<multimap>`
  - Déclaration
    - `std::map<K,V> s; // Comparateur par défaut = less<K>`
    - `std::map<K,V,greater<K> > s;`
    - Possède aussi un paramètre facultatif pour l'allocateur
- Méthodes spécifiques
  - `pair<M::iterator,bool>`
    `M::insert(const pair<K,V> &)`
  - `V & M::operator[](const K & cle)`

Associations *(2/2)*

- Remarques sur l'opérateur `[]`
  - Permet un accès indexé similaire au vecteur
  - Index = clé
  - Complexité d'accès en *O(log n)*
  - Attention: si la clé n'existe pas dans le conteneur, elle est ajoutée et associée à l'élément par défaut (`V()`)
  - Il est conseillé d'utiliser l'opérateur `[]` pour
    - l'écriture (insertion)
    - la lecture dont on est sûr de l'existence de la clé
  - Si on n'est pas sûr de l'existence d'une clé
    - Appel préalable à `find()` ou `count()`
    - Utilisation des itérateurs pour parcourir

Types de données internes

- Les conteneurs STL définissent des types internes
  - Embarqués dans les classes

- Pour tous les conteneurs
  - `C::value_type`: type des éléments stockés
    - Pour les associations: `pair<K,V>`
  - `C::reference`: type d'une référence sur un élément stocké
  - `C::const_reference`: type d'une référence constante sur un élément stocké
  - `C::size_type`: type d'entier utilisé pour compter les éléments
  - `C::iterator` et variations: types des itérateurs du conteneur

- Pour les conteneurs associatifs
  - `C::key_type`: type des clés
    - Pour les associations: `K`
    - Pour les ensembles: `V`
  - `C::key_compare`: comparateur des clés
  - `C::value_compare`: comparateur des éléments

Algorithmes de la STL *(1/2)*

- Collection de fonctionnalités classiques
  - Copier
  - Chercher
  - Trier
  - Insérer, supprimer, modifier
  - Partitionner, fusionner
  - Réorganiser

- Remarques
  - Tous définis dans le namespace `std`
  - Définis indépendamment des conteneurs

Algorithmes de la STL *(2/2)*

- Manipulent des itérateurs
  - Générique: possibilité de passer n'importe quel itérateur/pointeur
  - Itérateur de début et de fin = séquence où lire les éléments
  - Parfois itérateur de sortie pour écrire le résultat

- Souvent paramétrés par une opération
  - Principe du « patron de méthode » (algorithme à trous)
  - Générique: possibilité de passer un foncteur ou un pointeur de fonction
  - Comparateur, prédicat, générateur...

Boucle «pour chaque»

- Applique une opération à chaque élément d'une séquence
- Paramétré par une opération unaire
- Exemple

```
void ajouterPrefix(std::string & adresse)
{
  adresse = "http://www." + adresse;
}
...
std::vector<std::string> adresses;
...
for_each(adresses.begin(), adresses.end(), ajouterPrefix);
```

- «Vraie» boucle **`foreach`** dans C++11

Interrogation

- Recherche d'un élément par valeur
  - `itérateur find(début, fin, valeur)`
- Recherche d'un élément ayant une propriété donnée
  - `itérateur find_if(début, fin, prédicat)`
- Comptage du nombre d'éléments
  - égaux à une valeur : `entier count(début, fin, valeur)`
  - ayant une propriété : `entier count_if(début, fin, prédicat)`
- Test d'égalité de deux séquences
  - `booleen equal(debut1, fin1, debut2, fin2)`

Copie

- Copie de tous les éléments
  - `itérateur copy(début, fin, résultat)`
- Copie des éléments ayant une certaine propriété
  - `copy_if` oublié dans C++03 !
  - Présent dans C++11
  - Équivalence: `remove_copy_if(... not1(predicat));`
- Exemple

```
vector<int> v;
int buffer[5];
list<int> l;
copy(v.begin(), v.end(), buffer);
copy(buffer, buffer + 5, back_inserter(l));
copy(l.begin(), l.end(), ostream_iterator<int>(cout, " "));
```

«Suppression»

- «Suppression» d'une valeur
  - `itérateur remove(début, fin, valeur)`
- «Suppression» des éléments ayant une certaine propriété
  - `itérateur remove_if(début, fin, prédicat)`
- Attention ! `remove` déplace seulement à la fin de la séquence
  - Retourne un itérateur sur la «nouvelle fin»
  - Coupler avec `Conteneur::erase` pour supprimer vraiment
  - Exemple

```
v.erase(remove(v.begin(), v.end(), 42), v.end() );
```

- Versions non modifiantes
  - `itérateur remove_copy(début, fin, résultat, valeur)`
  - `itérateur remove_copy_if(début, fin, résultat, prédicat)`

Remplacement

- Remplacement d'une valeur
  - `void replace(début, fin, ancienneValeur, nouvelleValeur)`
- Remplacement des éléments ayant une certaine propriété
  - `void replace_if(début, fin, prédicat, nouvelleValeur)`
- Versions non modifiantes
  - `itérateur replace_copy(début, fin, résultat, ancienneValeur, nouvelleValeur)`
  - `itérateur replace_copy_if(début, fin, résultat, prédicat, nouvelleValeur)`

Transformation

- Appliquer une opération à chaque élément
  et stocker le résultat dans une autre séquence
  - `itérateur transform(début, fin, résultat, opérationUnaire)`
  - Exemple

```
list<string> adressesModifiees;
transform(adresses.begin(), adresses.end(),
          back_inserter(adressesModifiees),
          ajouterPrefixe);
```

- Appliquer une opération binaire sur les éléments
  de deux séquences (deux-à-deux)
  - `itérateur transform(début1, fin1,`
    `début2,`
    `résultat,`
    `opérationBinaire)`

Ordre *(1/2)*

- Tri avec opérateur <
  - `void sort(début, fin)`
- Tri avec comparateur personnalisé
  - `void sort(début, fin, comparateur)`
- Tri stable
  - Conserve l'ordre des éléments équivalents
  - `void stable_sort(début, fin[, comparateur])`
- Mélange
  - Par défaut, utilise `rand()`
  - `void random_shuffle (début, fin[, générateurAléatoire])`

Ordre *(2/2)*

- Inversion
  - `void reverse(début, fin)`
  - `void reverse_copy(début, fin, résultat)`
- Rotation
  - Déplace les éléments de façon à ce que milieu soit au début
  - `void rotate(début, milieu, fin)`
  - `void rotate_copy(début, milieu, fin, résultat)`

Remplissage d'une séquence

- Valeur fixe = passage d'une valeur
- Valeur variable = passage d'un générateur
  - Pointeur de fonction ou foncteur
- Début et fin fournis...
  - Remplissage de toute la séquence
  - `void fill(début, fin, valeur)`
  - `void generate(début, fin, générateur)`
- ...ou nombre d'éléments fournis
  - `void fill_n(résultat, n, valeur)`
  - `void generate_n(résultat, n, générateur)`

Utilitaires

- Minimum / Maximum
  - Entre deux valeurs
    - `min`/`max(a, b)`
  - D'une séquence
    - `itérateur min`/`max_element(début, fin[, comparateur])`

- Échange de deux valeurs
  - `void swap(a, b)`
  - Par défaut, copie dans un temporaire
  - Peut/doit être spécialisé pour être plus efficace
    - Par exemple, échange d'un attribut pointeur pour éviter la copie des éléments pointés
  - Très utilisé
    - Dans les algorithmes
    - Pour «compresser» un conteneur STL
      - La méthode `clear()` ne réduit pas la capacité du conteneur
    - Pour implémenter l'opérateur `=` (*copy-and-swap*)
      - Garantir une copie «sécurisée»

Quelques concepts liés à la STL

- Itérateur
  - «Pointeur» sur un élément d'un conteneur
  - Permet la séparation conteneur-algorithmes
- Foncteur
  - «Fonction» représentée sous la forme d'un objet
  - Sa classe surcharge l'opérateur **( )**
  - Permet de paramétrer les algorithmes
- Allocateur
  - Objet chargé de la gestion de la mémoire dans un conteneur
  - Permet d'adapter l'allocation mémoire
    - Optimisation: «pools» d'objets
    - Sécurité: multithreading
    - Support: mémoire en fichier
- Traits
  - API commune qui permet de connaître les caractéristiques d'un conteneur
    - Exemple: les types internes
  - Permet aux conteneurs d'être interchangeables

Conclusion sur la STL

- Avantages
  - Ensemble de fonctionnalités courantes
  - Code performant et fiable
- Inconvénients
  - Ceux des codes génériques
    - Code instancié plusieurs fois
    - Peu de vérification préalable sur les types paramètres
      $\Rightarrow$ erreurs de compilation difficiles à déchiffrer
  - Peu de vérification de cohérence
    - Exemple: débordement des itérateurs
- Etat actuel de la STL
  - API qui commence à dater
  - Certaines classes doivent être revues (e.g. `string`)
- Evolution prévue
  - Intégration de certaines biliothèques Boost
    - threads, regex, random, tables de hachage
  - Draft TR1 et norme C++11