ISIMA

PARTIE III

Généricité

Bruno Bachelet
Christophe Duhamel
Luc Touraille

Historique

- Concept apparu dès les années 70
- Ce n'est pas un concept objet
  - Les principes objet ne sont pas nécessaires
- … mais proposé par les langages objets !
  - ADA
  - C++
  - Java, C#

Généricité (1/2)

- Définir des entités abstraites du type de données
  - Structures de données: vecteur, pile, file, ensemble…
  - Algorithmes: chercher, trier, insérer, extraire…

⇒ Abstraction de données

- Autre manière de factoriser le code
  - Dans une fonction, les paramètres sont des valeurs
    - Dans sa définition, des valeurs sont inconnues
    - Au moment de l'appel, ces valeurs sont fixées
  - Dans un générique, les paramètres sont des types
    - Dans sa définition, des types sont inconnus
    - Au moment d'utiliser le générique, ces types sont fixés

Généricité *(2/2)*

- Un générique est un modèle
  - Instanciation = création d'un élément à partir d'un modèle
  - Instancier un générique $\Rightarrow$ fixer le type de ses paramètres

- Spécificités en C++
  - Génériques appelés *«templates»*
  - Des constantes peuvent aussi être des paramètres
  - Peuvent être génériques: fonctions, classes ou méthodes
  - Possibilité de «spécialisation statique»
    - Une nouvelle forme de polymorphisme
    - Permet la spécialisation pour certains types de données

Exemples

- Algorithme de tri
  - Fonctionne de la même manière sur tout type de données
    - Entiers, flottants, chaînes, instances d'une classe A…
  - Suppose des fonctionnalités sur le type manipulé
    - Une relation d'ordre
      - Opérateur **<**
      - Une fonction ou un objet tiers (e.g. foncteur)
    - Un mécanisme de copie
      - Opérateur **=**
- Type pile
  - Fonctionne de la même manière sur tout type de données
  - Suppose un mécanisme de copie

Héritage *vs.* généricité

- La généricité est complémentaire de l'héritage
- Tous les deux fournissent une forme de polymorphisme
  - La généricité agit à la compilation
  - L'héritage agit à l'exécution
- Contribuent tous les deux à développer du code générique
  - Tous les deux font abstraction du type
  - L'un par un processus de généralisation
  - L'autre par un mécanisme de paramètre
- Avec l'héritage
  - Plus de flexibilité, mais moins de sûreté
  - Contrôles de type effectués à l'exécution
  - Peut entraîner des ralentissements significatifs
- Avec la généricité
  - Moins de flexibilité, mais plus de sûreté
  - Contrôles de type effectués à la compilation
  - Moins de ralentissement (voire aucun) à l'exécution

Généricité en C++

- Mot-clé «`template`»
- Précède un composant générique
  - Fonction, classe ou méthode
- Définit des paramètres
  - Soit des types: `typename T`
  - Soit des constantes: `int N`

Fonction générique

- Définition d'une méthode générique

```
template <typename T>
const T & min(const T & a, const T & b)
{ return (a<b ? a : b ); }
```

- Suppose l'opérateur de comparaison sur le type paramétré «**T**»

- Appel à une méthode générique (instanciation)

```
int i,j;
…
int k = min<int>(i,j);
```

- Instanciation ⇒ fixer les types paramétrés

Polymorphisme statique

- Pas obligatoire de préciser les types paramétrés à l'instanciation
- Si le compilateur a suffisamment d'informations, il déduit les types
  - Comme avec la surcharge de nom
  - Forme de polymorphisme statique
  - `int i,j; … min(i,j);` ⇒ instanciation de `min<int>`
  - `double a,b; … min(a,b);` ⇒ instanciation de `min<double>`
- Le compilateur peut effectuer des conversions implicites si les types ne correspondent pas tout à fait

Les «concepts» *(1/2)*

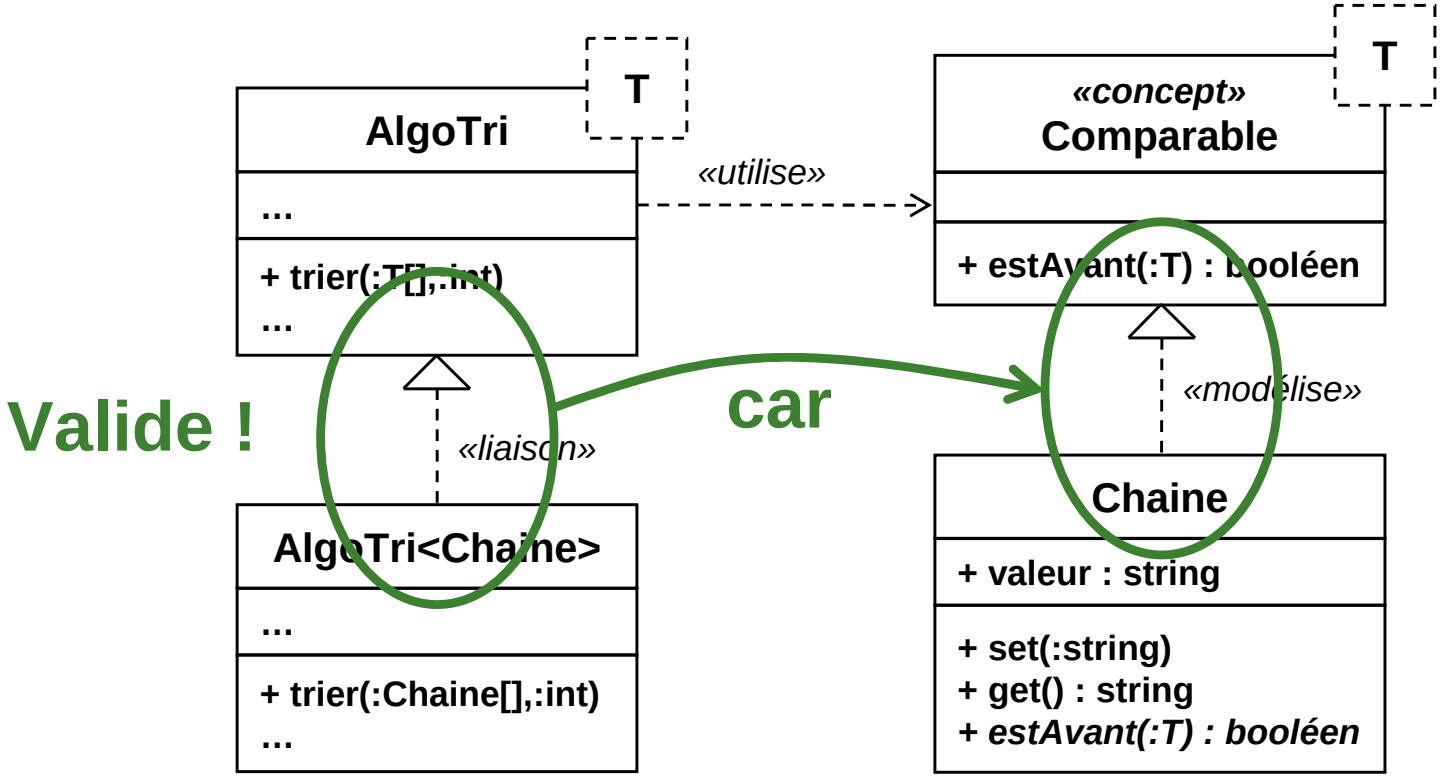
- Algorithme de tri

```
template <typename T>
void AlgoTri<T>::trier(T t[],int n) {
 for (int i = 0; i < n-1; i++)
  for (int j = i+1; j < n; j++)
   if (t[j].estAvant(t[i]))
   { T x = t[i]; t[i] = t[j]; t[j] = x; }
}
```

- Hypothèse: le type «**T**» possède la méthode «**estAvant**»
  - Vérification faite à la compilation, au moment de l'instanciation
- L'interface supposée de «**T**» est appelée un «concept»
- Concept = ensemble de spécifications
  - Concerne l'interface: existence d'une méthode
  - Concerne l'implémentation: complexité d'une méthode
  - Mais aussi toute contrainte pertinente liée à l'utilisation du type

Les «concepts» *(2/2)*

- Dans l'algo, «**T**» doit respecter le concept «**Comparable**»
  - On dit: «**T**» modélise le concept «**Comparable**»



- En C++, les concepts sont pour l'instant implicites
  - Seule une documentation permet de les identifier
  - Voir la documentation de la STL par exemple
  - En Java: les types contraints + interface

Classe générique

- Définition d'une classe générique

```
template <typename T,int N> class Pile {
 private:
  T elements[N];
  int sommet;
 public:
  Pile(void);
  void ajouter(const T &);
  T retirer(void);
};
```

- Instanciation d'une classe générique
  - `Pile<int,256> p;`
  - `typedef Pile<double,100> pile_double_t;`

Paramètres par défaut *(1/2)*

- Possibilité d'une valeur par défaut pour un paramètre
- Constante par défaut
  - `template <typename T,int N = 256> class Pile;`
  - `Pile<int>` ⇒ instanciation de `Pile<int,256>`
- Type par défaut
  - `template <typename T,typename C = int>`
    `class TableHachage;`
  - `TableHachage<string>`
    ⇒ instanciation de `TableHachage<string,int>`

Paramètres par défaut *(2/2)*

- Exemple plus subtil
  - Paramétrage du type de structure utilisé pour modéliser une pile
- Définition de la classe

```
template <typename T,typename C> class Pile {
 …
 protected: C elements;
 …
};
```

- Instanciation: `Pile<int,vector<int> >`
- Proposons une structure par défaut
  - `template <typename T,typename C = vector<T> > class Pile;`
  - `Pile<int>` ⇒ instanciation de `Pile<int,vector<int> >`
- Remarque de syntaxe
  - Il arrive d'avoir `<<` ou `>>` dans la définition d'un template
  - Mettre un espace pour éviter la confusion avec l'opérateur de flux

Méthodes génériques

- Exemple de déclaration

```
template <typename T> class Pile {
 …
 template <typename U> void copier(const Pile<U> &);
 …
};
```

- Utilisation

```
Pile<double> p1;
Pile<int> p2;
…
p1.copier(p2);
```

- Instanciation explicite: `p1.copier<int>(p2);`

Implémentation d'un template *(1/2)*

- Normalement, séparation interface et implémentation
  - Fichier entête
    - Déclaration méthodes + attributs
  - Fichier implémentation
    - Définition méthodes + attributs statiques

- Pour la suite, méthode *«template»*
  = méthode générique ou méthode d'une classe générique

- Implémentation des méthodes *«template»* dans un entête
  - Utilisation des méthodes *«inline»* similaire aux méthodes *«template»*
  - Ce sont des modèles de méthodes
  - Leur implémentation doit être visible au moment de l'appel

- Conseil de lisibilité: placer les implémentation en dehors de la classe

Implémentation d'un template *(2/2)*

```
template <typename T,int N> class Pile {
 private:
  T elements[N];
  int sommet;
 public:
  Pile(void);
  void ajouter(const T &);
  T retirer(void);
};

template <typename T,int N> Pile<T,N>::Pile(void)
: sommet(0) {}

template <typename T,int N> Pile<T,N>::ajouter(const T & e)
{ elements[sommet++]=e; }

template <typename T,int N> T Pile<T,N>::retirer(void)
{ return elements[--sommet]; }
```

Mot-clé «typename»

- Indique que ce qui suit est un type

- Utilisé dans la déclaration d'un paramètre
  - `template <typename T>`
  - `template <class T>` ⇒ obsolète, à éviter

- Utilisé pour lever une ambiguïté
  - A cause de l'instanciation partielle
  - Tant que l'instanciation n'est pas effective ⇒ doute
  - Exemple:
    - ```
      template <typename T> class A {
       public: typedef T type_t;
      };
      ```
    - ```
      template <typename T> class B {
       typedef typename A<T>::type_t type_A;
      };
      ```
  - On ne sait ce qu'est `A<T>::type_t`
    - Type ou attribut ? ⇒ `typename`

Compilation d'un générique *(1/2)*

- Un code générique n'est pas compilé
  - Analyse «succincte» au niveau syntaxique
- Un code instancié est compilé
  - Analyse «complète» au niveau sémantique
- Instanciation = réécriture
  - Code générique dupliqué
  - Types paramètres remplacés par types concrets
- Equivalent d'un copier-coller-remplacer
  - Permet une efficacité optimale du code

Compilation d'un générique *(2/2)*

- Attention: une instance par jeu de paramètres
  - Travail du compilateur important ⇒ temps de compilation
  - Duplication de code ⇒ taille de l'exécutable

- Attention: aucun lien entre 2 instances (en C++)
  - Pas de parenté entre les instances d'une classe générique
  - Pas de passerelle de conversion
    - `Pile<int> p1;`
    - `Pile<double> p2;`
    - `p1 = p2;` ⇒ interdit
  - Même sur les paramètres constants
    - `Pile<int,10> p1;`
    - `Pile<int,20> p2;`
    - `p1 = p2;` ⇒ interdit

Relation d'amitié *(1/2)*

- Amitié = rompre l'encapsulation avec un composant bien identifié
- A éviter, mais parfois nécessaire
  - Entre composants d'un même module
  - Evite des méthodes publiques inutiles hors module
  - En C++, pas de modificateur *«friendly»* comme en Java
- Mot-clé «**friend**»
  - ```
    class A {
      friend class B;
      friend void f(void);
      friend void C::g(void);
      ...
    };
    ```
  - La classe B voit les membres cachés de A
  - La fonction f voit les membres cachés de A
  - La méthode g de la classe C voit les membres cachés de A
    ```

Relation d'amitié *(2/2)*

- L'amitié n'est pas réciproque (ni transitive)
  - ```
    class B {
     friend class A;
     …
    };
    ```
- Une fonction peut être amie
  - ```
    class B {
     friend void f(void);
     …
    };
    ```
- L'amitié n'est pas une déclaration
  - f ou A ne peuvent pas être utilisées par B sans déclaration préalable

Déclaration anticipée *(1/3)*

- Pour utiliser une classe ou une fonction, celle-ci doit être connue
  - Elle doit être déclarée
  - Pour une fonction ⇒ prototype
  - Pour une classe ⇒ déclaration complète ou «anticipée»

- Amitié réciproque ⇒ déclaration anticipée
  - Car une classe doit forcément être déclarée avant l'autre

- En anglais: *«forward declaration»*

- Exemple de déclaration anticipée
  - ```
    class B;
    …
    class A {
     friend class B;
     …
    };
    ```
  - ```
    class A;
    …
    class B {
     friend class A;
     …
    };
    ```

Déclaration anticipée *(2/3)*

- Déclaration anticipée = déclaration partielle d'un type
  - Seul le nom est indiqué
  - Rien n'est précisé sur la structure du type

⇒ Restrictions tant qu'il n'est pas complètement déclaré

- Aucune méthode ou attribut ne peut être appelé
  - `A a;` ⇒ interdit
  - `A::x;` ⇒ interdit
  - `A::m();` ⇒ interdit

- Le type peut être utilisé sans restriction dans les déclarations
  - `void m(A *);` ⇒ ok
  - `void m(A &);` ⇒ ok
  - `void m(A);` ⇒ ok

Déclaration anticipée *(3/3)*

- Seuls les pointeurs et références peuvent être utilisés dans les définitions
  - Variables
    - `A * a;` ⇒ ok
    - `A & a;` ⇒ ok
    - `a->m();` ⇒ interdit
  - Arguments
    - `void m(A *) {…}` ⇒ ok
    - `void m(A &) {…}` ⇒ ok
    - `void m(A) {…}` ⇒ interdit

- Utilisation normale avec «`typedef`» et «`friend`»
  - `typedef A mon_ami;`

Amitié et généricité *(1/2)*

- Exemples
  - `template <typename T> class B;`
  - `template <typename T> void f(void);`

- Amitié avec toutes les instances
  - ```
    class A {
     template <typename T> friend class B;
    };
    ```
  - ```
    class A {
     template <typename T> friend void f(void);
    };
    ```

- Amitié avec une instance particulière
  - ```
    class A {
     friend class B<int>;
    };
    ```
  - ```
    class A {
     friend void f<int>(void);
    };
    ```

Amitié et généricité *(2/2)*

- Cas d'une classe générique: exemple d'amitié avec une instance

```
template <typename T> class Vecteur;

template <typename T>
ostream & operator << (ostream &,const Vecteur<T> &);

template <typename T> class Vecteur {
 friend
 ostream & operator << <T> (ostream &,const Vecteur<T> &);

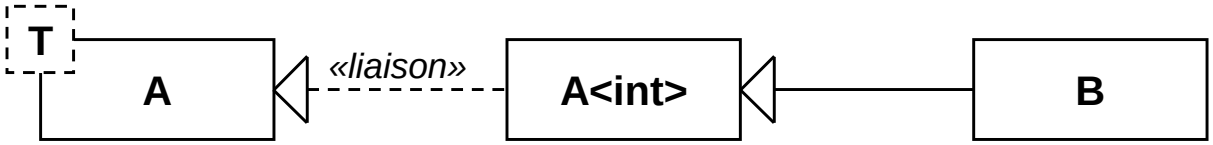
 protected: T * elements;
 protected: int nb;
 …
};

template <typename T>
ostream & operator << (ostream & f,const Vecteur<T> & v) {
 for (int i=0; i<v.nb; ++i) f << v.elements[i] << " ";
 return f;
}
```

Héritage et généricité *(1/4)*

- Héritage «simple»
  - Héritage d'une instance d'une classe générique
  - Exemple: **`NuagePoint`** hérite de **`Vecteur<Point>`**

- Illustration
  - **`template <typename T> class A {…};`**
  - **`class B : public A<int> {…};`**



Héritage et généricité *(2/4)*

- Héritage «classique»
  - Héritage entre deux classes génériques
  - Exemple: `FileAttente<T>` hérite de `Vecteur<T>`

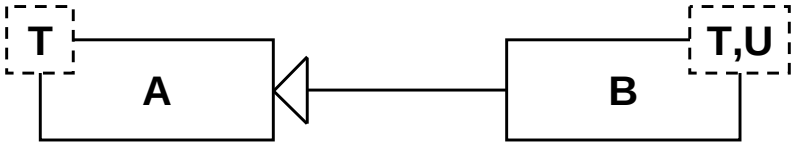
- Illustration
  - `template <typename T> class A {…};`
  - ```
    template <typename T>
    class B : public A<T> {…};
    ```


    ```

Héritage et généricité *(3/4)*

- Héritage avec «extension»
  - Héritage entre classes génériques avec ajout d'un paramètre
  - Exemple: **`FilePriorite<T,C>`** hérite de **`Vecteur<T>`**
    - «**`C`**» = objet comparateur qui indique la relation d'ordre

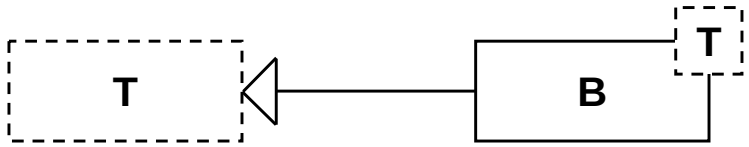
- Illustration
  - **`template <typename T> class A {…};`**
  - **`template <typename T,typename U>`**
    `class B : public A<T> {…};`



Héritage et généricité *(4/4)*

- Héritage «générique»
  - Héritage d'une classe qui est un paramètre
    - Extension potentielle de toutes les classes
  - Exemple: **`Comparable<T>`** hérite de **`T`**
    - Toute classe peut devenir un «comparable»

- Illustration
  - **`template <typename T> class B : public T {…};`**



Spécialisation statique

- Composant générique = modèle indépendant des types

- Mais cela peut être pénalisant
  - Exemple: recherche d'un élément dans une structure
  - Approches différentes suivant que la structure soit triée ou non

⇒ Mécanisme de spécialisation «statique»
  - Spécialisation du modèle générique pour un jeu de paramètres
  - Jeu de paramètres partiel ou complet
    - On parle aussi d'«instanciation» partielle ou complète

- Associé au polymorphisme statique de l'instanciation
  - «Meilleure» instanciation choisie en fonction du jeu de paramètres

Spécialisation d'une fonction générique

- Modèle générique d'une fonction de calcul de moyenne

```
template <int N> double moyenne(int * tab) {
 double somme = 0;
 for (int i = 0; i < N; ++i) somme += tab[i];
 return (somme/N);
}
```

- Spécialisation du modèle pour *N = 2* et *N = 1*

```
template <> double moyenne<2>(int * tab)
{ return (double(tab[0] + tab[1])/2); }

template <> double moyenne<1>(int * tab)
{ return double(tab[0]); }
```

- Attention à l'ordre
  - Déclarer d'abord la version générique, puis les versions spécifiques

- En C++, spécialisation «partielle» d'une fonction (ou méthode) interdite

Spécialisation d'une classe générique

- Modèle générique d'un vecteur d'éléments

```
template <typename T> class Vecteur {
 protected: T * elements;
 protected: int taille;
 ...
 public: T operator [] (int i)
 { return elements[i]; }
};
```

- Spécialisation du modèle pour *T* = *bool*

```
template <> class Vecteur<bool> {
 protected: char * elements;
 protected: int taille;
 ...
 public: bool operator [] (int i)
 { return ((elements[i/8] >> (i%8)) & 1); }
};
```

Polymorphisme statique

- Mécanisme statique lors de l'instanciation d'un modèle
  - Sélection de la version la plus spécialisée
  - En fonction du jeu de paramètres

$\Rightarrow$ Génération du code le plus dédié possible

- Exemples d'instanciations
  - `moyenne<10>(tab);` $\Rightarrow$ version générique
  - `moyenne<2>(tab);` $\Rightarrow$ version spécialisée pour *N* = *2*
  - `Vecteur<int> v;` $\Rightarrow$ version générique
  - `Vecteur<bool> v;` $\Rightarrow$ version spécialisée pour *T* = *bool*

Spécialisation partielle *(1/2)*

- Spécialisation partielle
  = spécialisation avec un jeu de paramètres incomplet

- Retour sur l'exemple de calcul de moyenne

```
template <typename T,int N> class Moyenne {
 public: static T calculer(T * tab) {
  T somme = T();
  for (int i = 0; i < N; ++i) somme += tab[i];
  return (somme/T(N));
 }
};
```

- Spécialisation pour *N* = *2* (*T* reste inconnu)

```
template <typename T> class Moyenne<T,2> {
 public: static T calculer(T * tab)
 { return ((tab[0] + tab[1])/T(2)); }
};
```

Spécialisation partielle *(2/2)*

- Exemple de recherche d'un élément dans un conteneur

```
template <typename T,typename C>
class Recherche {
 public:
  static bool executer(const C & conteneur,
                       const T & element);
};
```

- Spécialisation pour *C* = *vector*<*T*> (*T* reste inconnu)

```
template <typename T>
class Recherche< T,vector<T> > {
 public:
  static bool executer(const vector<T> & conteneur,
                       const T & element);
};
```

Alternative à l'héritage *(1/2)*

- Polymorphisme dynamique ⇒ coût important à l'exécution

- Exemple: stratégie de recherche dans un conteneur

```
template <typename T> class Vecteur {
 ...
 public: virtual bool rechercher(const T & x);
};

template <typename T> class VecteurTrie
: public Vecteur<T> {
 ...
 public: bool rechercher(const T & x);
};
```

- Héritage des conteneurs vraiment nécessaire ?
  - Aspect dynamique sans intérêt ⇒ spécialisation statique

Alternative à l'héritage *(2/2)*

- Version générique avec spécialisation statique

```
template <typename T,typename C> class Recherche {
 public: static bool executer(const C & c,
                              const T & e);
};

template <typename T>
class Recherche< T,VecteurTrie<T> > {
 public:
  static bool executer(const VecteurTrie<T> & c,
                       const T & e);
};
```

- Astuce: utiliser la déduction automatique des paramètres

```
template <typename T,typename C>
int rechercher(const C & c,const T & e)
{ return Recherche<T,C>::executer(c,e); }
```

Retour sur l'héritage avec généricité

- Exemple
  - ```
    template <typename T> class A {
     public: void m(void);
     …
    };
    ```
  - ```
    template <typename T> class B : public A<T> {
     public: void n(void) { … m(); … }
     …
    };
    ```

- Instantiation partielle ⇒ doute

- Toujours utiliser `this->` sur un membre hérité
  - Si une fonction «`m`» existe, elle peut être appelée
  - Donc: `void n(void) { … this->m(); …; }`

Paramètre «template template»

- Possibilité d'avoir une classe générique comme paramètre d'un générique
  - Mot-clé «`template`» utilisé dans les paramètres du générique

- Exemple
  - ```
    template <typename T,template <typename> class C>
    class Pile {
     …
     protected: C<T> elements;
     …
    };
    ```
  - Utilisation: `Pile<int,std::vector>`

- Attention: «`C`» n'est pas un type mais bien un modèle !
  - «`C`» est une classe générique
  - C'est «`C<T>`» le type du conteneur

- `Pile<int,std::vector<int> >` est incorrect !
  - Fonctionne avec: `template <typename T,typename C> class Pile;`
    ```