

C++

Templates

001

Exemple de templates

```
template <typename T>
struct vec2
{
    vec2(T x_arg,T y_arg):x(x_arg),y(y_arg){}
    T x,y;
};

template <typename T>
std::string to_string(const vec2<T>& v)
{
    std::stringstream str;
    str<<v.x<<" "<<v.y;
    return str.str();
}

int main()
{
    vec2<float> v0(1.2f,3.3f);
    vec2<double> v1(1.4,5.5);

    std::cout<<to_string(v0)<<std::endl;
    std::cout<<to_string(v1)<<std::endl;
}
```

*Une classe
template*

*Une fonction
template*

*Utilisation
de template*

002

Paramètre template entier

- Le paramètre template n'est pas forcément un type.
- Il peut être un entier.

```
template <int N>
std::vector<int> n_premier_entiers()
{
    std::vector<int> v(N);
    for(int k=0;k<N;++k)
        v[k]=k;
    return v;
}

int main()
{
    std::vector<int> v=n_premier_entiers<10>();
    for(int k=0;k<10;++k)
        std::cout<<v[k]<<std::endl;
}
```

*Paramètre connu
à la compilation*

003

Paramètre template entier

Intérêt: Calcul réalisé par le compilateur, pas en run-time
temps de calcul = 0 !

```
template <int N>
int static_square()
{
    return N*N;
}

int main()
{
    const int a=static_square<5>();
    float tableau[static_square<3>()];

    std::cout<<a<<std::endl;
    std::cout<<sizeof(tableau)/sizeof(float)<<std::endl;
}
```

tableau statique
initialisé à partir d'un
calcul

004

Calcul par le compilateur

En C++11, on peut définir des constexpr
= expressions évalués par le compilateur

```
constexpr int static_square(int N)
{
    return N*N;
}
```

Le compilateur vérifie qu'il peut évaluer l'expression
Elle ne prendra aucun temps de calcul

005

Calcul par le compilateur

```
constexpr int static_square(int N){return N*N;}
int square(int N){return N*N;}

template <int N>
void affiche()
{
    std::cout<<N<<std::endl;
}

int main()
{
    affiche<static_square(5)>(); OK
    affiche<square(5)>(); KO
}
```

expression constante (pointing to static_square(5))
expression variable (pointing to square(5))

006

Meta-programmation

Meta-programmation = réaliser des calculs en amont du code.
Ici, le compilateur réalise les calculs.

```
constexpr int factoriel(int N)
{
    return N<=1 ? 1 : N*factoriel(N-1);
}

template <typename T,int N>
struct vecN{T data[N];};

int main()
{
    vecN<float, factoriel(4)> v;
    for(int k=0;k<factoriel(4);++k)
        v.data[k]=k;
    std::cout<<v.data[23]<<std::endl;
}
```

Calcul de N!
Ne prend aucun temps de calcul (pointing to factoriel)

Utilisation possible pour des paramètres template (pointing to factoriel(4) in vecN)

007

Exemple de classes template

Vecteur de données génériques
taille générique connue à la compilation.

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v);
```

008

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v);
```

Implémentation

```
template <typename TYPE,int SIZE>
TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index)
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}

template <typename TYPE,int SIZE>
const TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index) const
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}
```

gestion d'erreur
par exception

Attention: Le corps des templates doivent être dans les fichiers d'en-tête.

009

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v);
```

```
template <typename TYPE,int SIZE>
TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index)
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}

template <typename TYPE,int SIZE>
const TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index) const
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}
```

Affichage par std::cout<<

```
template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v)
{
    for(int k=0;k<SIZE;++k)
        str<<v[k]<<" ";
    return str;
}
```

010

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v);
```

```
template <typename TYPE,int SIZE>
TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index)
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}

template <typename TYPE,int SIZE>
const TYPE& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index) const
{
    if(index<0 || index>=SIZE)
        throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    return data[index];
}
```

```
template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str,const vecN<TYPE,SIZE>& v)
{
    for(int k=0;k<SIZE;++k)
        str<<v[k]<<" ";
    return str;
}
```

```
int main()
{
    vecN<float,3> v0;
    v0[0]=1.4f; v0[1]=2.4f; v0[2]=7.6f;

    vecN<long double,4> v1;
    v1[0]=1.78L;v1[1]=4.4L;v1[2]=7.6L;v1[3]=-1.2L;

    vecN<vecN<int,2>,3> v2;
    v2[0][0]=1;v2[0][1]=2;
    v2[1][0]=2;v2[1][1]=5;
    v2[2][0]=3;v2[2][1]=4;

    std::cout<<v0<<std::endl;
    std::cout<<v1<<std::endl;
    std::cout<<v2<<std::endl;
}
```

Exemple d'utilisation

011

Méthodes template

Il est possible d'avoir des méthodes avec d'autres paramètres template dans une classe générique.

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

    template <typename TYPE2>
    vecN<TYPE,SIZE>& operator+=(const TYPE2& vector);

private:
    TYPE data[SIZE];
};
```

Utilisation

```
vecN<float,3> v0;
v0[0]=1.4f; v0[1]=2.4f; v0[2]=7.6f;
std::vector<float> vec={1.2,0.5,3.1};
v0+=vec;
std::cout<<v0<<std::endl;
```

```
template <typename TYPE,int SIZE> 2 niveaux de templates
template <typename TYPE2>
vecN<TYPE,SIZE>& vecN<TYPE,SIZE>::operator+=(const TYPE2& vector)
{
    for(int k=0;k<SIZE;++k)
        data[k]+=vector[k];
    return *this;
}
```

implémentation

vecN peut
s'additionner avec
tout type de vecteur

012

Problème de déduction de type

On souhaite créer une fonction de produit scalaire générique

```

template <typename TYPE_INPUT,typename TYPE_OUTPUT,int SIZE>
TYPE_OUTPUT dot(const TYPE_INPUT& arg0,const TYPE_INPUT& arg1)
{
    TYPE_OUTPUT val;
    for(int k=0;k<SIZE;++k)
        val += arg0[k]*arg1[k];

    return val;
}

int main()
{
    vecN<float,3> v0;
    v0[0]=1.4f; v0[1]=2.4f; v0[2]=7.6f;

    vecN<float,3> v1;
    v1[0]=2.8f; v1[1]=4.4f; v1[2]=2.6f;

    float projection=dot<vecN<float,3>,float,3>(v0,v1);

    std::cout<<projection<<std::endl;
}
    
```

type de sortie
taille du vecteur

Les paramètres ne sont pas déduits automatiquement: lourd

On aurait pu déduire les types de sortie et la taille du paramètre d'entrée

013

Accès aux paramètres template

On ajoute un accès public aux paramètres template

```

template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    //accès aux paramètres template
    typedef TYPE TYPE_VALEUR;
    static constexpr int size() {return SIZE;}

    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};
    
```

typedef redefinit un type.

- vecN::TYPE_VALEUR contient TYPE

- vecN::size() renvoie la taille connue à la compilation

014

Accès aux paramètres template

```

template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    //accès aux paramètres template
    typedef TYPE TYPE_VALEUR;
    static constexpr int size() {return SIZE;}

    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;

private:
    TYPE data[SIZE];
};
    
```

```

template <typename T>
typename T::TYPE_VALEUR dot(const T& arg0,const T& arg1)
{
    typename T::TYPE_VALEUR val;
    for(int k=0,N=T::size();k<N;++k)
        val += arg0[k]*arg1[k];

    return val;
}
    
```

```

int main()
{
    vecN<float,3> v0;
    v0[0]=1.4f; v0[1]=2.4f; v0[2]=7.6f;

    vecN<float,3> v1;
    v1[0]=2.8f; v1[1]=4.4f; v1[2]=2.6f;

    float projection=dot(v0,v1);

    std::cout<<projection<<std::endl;
}
    
```

typename obligatoire : type défini à partir d'un template

Utilisation très simple déduction automatique des types

015

Type traits

Vocabulaire:

Les caractéristiques associées à une classe template sont appelés les *traits*

Ils peuvent être contenus dans une classe séparée

Ex. La classe traits d'iterateur

std::iterator_traits

Standard algorithms determine certain properties of the iterators passed to them and the target they represent by using the members of the corresponding `iterator_traits` instantiation.

For every iterator type, a corresponding specialization of `iterator_traits` class template must be defined, with at least the following member types defined:

Member	Description
<code>value_type</code>	Type to express the result of subtracting one iterator from another.
<code>iterator_type</code>	The type of the iterator the iterator can point to.
<code>reference</code>	The type of a reference to an element the iterator can point to.
<code>iterator_category</code>	The iterator category. It can be one of these: <ul style="list-style-type: none"> <code>input_iterator_tag</code> <code>output_iterator_tag</code> <code>bidirectional_iterator_tag</code> <code>random_access_iterator_tag</code>

Note: For output iterators that are not at least forward iterators, any of these member types (except for `iterator_category`) may be defined as void.

The `iterator_traits` class template comes with a default definition that obtains these types from the iterator type itself (see below). It is also specialized for pointers (C++) and pointers to const (C++).

Note that any custom class will have a valid instantiation of `iterator_traits` if it publicly inherits the base class `std::iterator`.

Member types	generic definition	C++ specialization	const C++ specialization
<code>value_type</code>	<code>iterator::value_type</code>	<code>std::ptrdiff_t</code>	<code>std::ptrdiff_t</code>
<code>iterator_type</code>	<code>iterator::value_type</code>	<code>T*</code>	<code>const T*</code>
<code>reference</code>	<code>iterator::pointer</code>	<code>T&</code>	<code>const T&</code>
<code>iterator_category</code>	<code>iterator::reference</code>	<code>IT</code>	<code>const IT</code>
<code>iterator_category::iterator</code>	<code>iterator::category::random_access_iterator_tag</code>	<code>random_access_iterator_tag</code>	<code>random_access_iterator_tag</code>

016

Specialisation de template

- Définir comportement particulier pour certains paramètres template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;
private:
    TYPE data[SIZE];
};
```

Classe template générale

```
template <typename TYPE>
class vecN<TYPE,2>
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;
    const TYPE& x() const;
    const TYPE& y() const;
private:
    TYPE x_data,y_data;
};
```

Classe template spécialisée (partiellement)

Comportement différent pour un vecteur de taille 2

Accès direct à x ou y par des méthodes (spécifique pour un vecteur de dimension 2)

017

Specialisation de template

```
template <typename TYPE>
class vecN<TYPE,2>
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;
    const TYPE& x() const;
    const TYPE& y() const;
private:
    TYPE x_data,y_data;
};
```

Spécialisation vecN de taille 2

```
template <typename TYPE>
class vecN<TYPE,3>
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    const TYPE& operator[](int index) const;
    vecN<TYPE,3> cross(const vecN<TYPE,3>& vec) const;
private:
    TYPE x_data,y_data,z_data;
};
```

Spécialisation vecN de taille 3

Accès au produit vectoriel

018

Implémentation des spécialisations

```
template <typename TYPE>
TYPE& vecN<TYPE,2>::operator[](int index)
{
    switch(index)
    {
        case 0:
            return x_data;
        case 1:
            return y_data;
        default:
            throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    }
}
template <typename TYPE> const TYPE& vecN<TYPE,2>::x() const{return x_data;}
template <typename TYPE> const TYPE& vecN<TYPE,2>::y() const{return y_data;}
template <typename TYPE>
vecN<TYPE,3> vecN<TYPE,3>::cross(const vecN<TYPE,3>& vec) const
{
    vecN<TYPE,3> temp;
    temp[0]=y_data*vec[2]-z_data*vec[1];
    temp[1]=z_data*vec[0]-x_data*vec[2];
    temp[2]=x_data*vec[1]-y_data*vec[0];
    return temp;
}
```

Un seul paramètre template

019

Utilisation des spécialisations

Utilisation transparente

Une seule classe visible, comportement s'adaptant aux paramètres

```
int main()
{
    vecN<float,4> v0;
    v0[0]=1.4f; v0[1]=2.4f; v0[2]=7.6f; v0[3]=-2.1f;

    vecN<float,3> v1;
    v1[0]=1.4f; v1[1]=2.4f; v1[2]=7.6f;

    vecN<float,2> v2;
    v2[0]=2.8f; v2[1]=4.4f;

    vecN<float,3> v3=v1.cross(v1);
    std::cout<<v3<<std::endl;

    std::cout<<v2.x()<<" "<<v2.y()<<std::endl;
}
```

spécifique dimension 3

spécifique dimension 2

020

Spécialisation totale

```
template <>
class vecN<int,2>
{
public:
    vecN(int x_arg,int y_arg);

    int& operator[](int index);
    int operator[](int index) const;

private:
    int x_data,y_data;
};
using pixel_coord=vecN<int,2>;
```

Spécialisation totale d'une classe template

Permet de définir un alias de type
pixel_coord est équivalent (autre nom) à vecN<int,2>

021

Spécialisation totale

L'implémentation n'est plus un template!
Il faut définir le corps des fonctions dans les .cpp à nouveau

```
vecN<int,2>::vecN(int x_arg,int y_arg)
: x_data(x_arg),y_data(y_arg)
{}

int& vecN<int,2>::operator[](int index)
{
    switch(index)
    {
        case 0:
            return x_data;
        case 1:
            return y_data;
        default:
            throw std::out_of_range(__FUNCTION__);
    }
}
Dans le .cpp
```

```
template <>
class vecN<int,2>
{
public:
    vecN(int x_arg,int y_arg);

    int& operator[](int index);
    int operator[](int index) const;

private:
    int x_data,y_data;
};
using pixel_coord=vecN<int,2>;
```

```
pixel_coord p(4,6);
std::cout<<p<<std::endl;
```

Utilisation transparente

022

Spécialisation des fonctions

- Attention: Seule les classes peuvent être partiellement spécialisés. Pas les fonctions.
- Une spécialisation de fonction doit être totale.
- Les fonctions fonctionnent plutôt par surcharge, éviter de mélanger spécialisation et surcharge.

023

Efficacité: template VS polymorphisme

Template

```
template <typename T>
void scalar_multiply_template(T& vecteur,float s);

template <typename T>
void scalar_multiply_template(T& vecteur,float s)
{
    vecteur.x*=s;
    vecteur.y*=s;
}

struct vec2
{
    vec2(float x_arg,float y_arg):x(x_arg),y(y_arg){}
    float x,y;
};
```

Polymorphe

```
struct objet_avec_scalar_multiply
{
    virtual void scalar_multiply_polymorph(float s)=0;
};

struct vec2_polymorph : public objet_avec_scalar_multiply
{
    vec2_polymorph(float x_arg,float y_arg);
    void scalar_multiply_polymorph(float s);
    int x,y;
};

vec2_polymorph::vec2_polymorph(float x_arg,float y_arg)
:x(x_arg),y(y_arg)
{}

void vec2_polymorph::scalar_multiply_polymorph(float s)
{
    x*=s;
    y*=s;
}
```

Pour 625 millions d'opérations:

- template: 3.3s (optimisé à 0s si calcul trivial)
- polymorphe: 6.5s (jamais optimisé)

024