C++

Templates

typename T::value

template <int N>

template <typename T>

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(vec2<T> const& 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

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

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

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

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)>();
    affiche<square(5)>();
}
```

expression constante

OK

KO

expression variable

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

Utilisation possible pour
des paramètres template

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};

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

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str, vecN<TYPE,SIZE> const& 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>
TYPE const& 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.

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};

template <typename TYPE,int SIZE>
std::ostream& operator<<(std::ostream& str, vecN<TYPE,SIZE> const& 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>
TYPE const& vecN<TYPE,SIZE>::operator[](int index) const
{
    if(index<0 || index>=SIZE)

}
```

gestion d'erreur par exception

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

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};

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

Exemple de classes template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};

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

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+=(TYPE2 const& vector);

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

*addition avec un **autre vecteur***

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;
```

vecN peut s'additionner avec tout type de vecteur

2 niveaux de templates

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

implémentation

Problème de déduction de type

On souhaite créer une fonction de produit scalaire générique

type de sortie

taille du vecteur

```
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;
}
```

Les paramètres ne sont pas déduits automatiquement: lourd

Il serait intéressant de pouvoir déduire les types de sortie et la taille du paramètre d'entrée

dot(v0,v1) : beaucoup plus lisible

Accès aux paramètres template

On ajoute un accès publique aux paramètres template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

    //acces aux parametres template
    typedef TYPE TYPE_VALEUR;
    static constexpr int size() {return SIZE;}

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

private:
    TYPE data[SIZE];

};
```

typedef redefinit un type.
- vecN::TYPE_VALEUR contient TYPE
- vecN::size() renvoit la taille connue à la compilation

Accès aux paramètres template

```
template <typename TYPE,int SIZE>
class vecN
{
public:

    //acces aux parametres 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( T const& arg0, T const& arg1)
{
    typename T::TYPE_VALEUR val;
    for(int k=0,N=T::size();k<N;++k)
        val += arg0[k]*arg1[k];

    return val;
}
```

typename obligatoire
: type défini à partir d'un template

```
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;
}
```

Utilisation très simple
déduction automatique des types

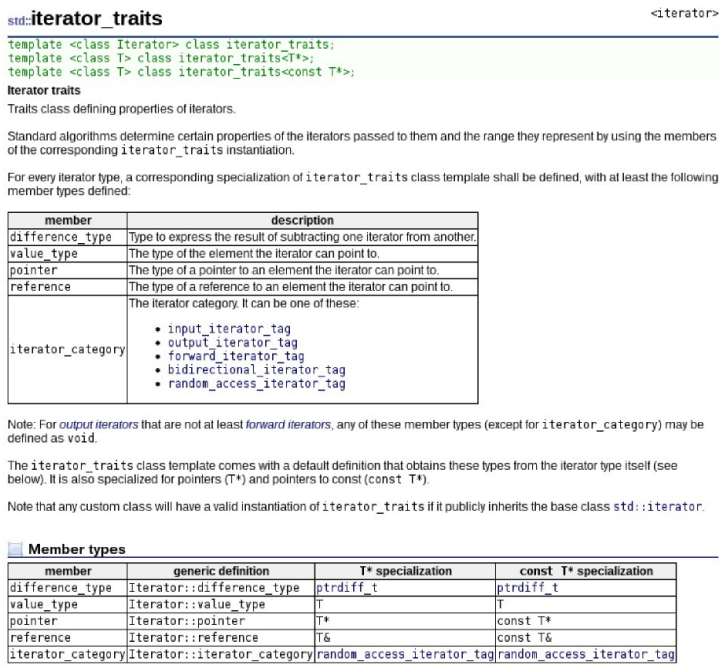
Type traits

Vocabulaire:

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

Ils peuvent être contenus dans une classe séparée

Ex. La classe traits d'iterator



std::**iterator_traits** <iterator>

```
template <class Iterator> class iterator_traits;
template <class T> class iterator_traits<T*>;
template <class T> class iterator_traits<const T*>;
```

Iterator traits

Traits class defining properties of iterators.

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

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

member	description
`difference_type`	Type to express the result of subtracting one iterator from another.
`value_type`	The type of the element the iterator can point to.
`pointer`	The type of a pointer to an element the iterator can point to.
`reference`	The type of a reference to an element the iterator can point to.
`iterator_category`	The iterator category. It can be one of these: • `input_iterator_tag` • `output_iterator_tag` • `forward_iterator_tag` • `bidirectional_iterator_tag` • `random_access_iterator_tag`

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 (`T*`) and pointers to const (`const T*`).

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

Member types

member	generic definition	T* specialization	const T* specialization
`difference_type`	`Iterator::difference_type`	`ptrdiff_t`	`ptrdiff_t`
`value_type`	`Iterator::value_type`	`T`	`T`
`pointer`	`Iterator::pointer`	`T*`	`const T*`
`reference`	`Iterator::reference`	`T&`	`const T&`
`iterator_category`	`Iterator::iterator_category`	`random_access_iterator_tag`	`random_access_iterator_tag`

Specialisation de template

- Définir comportement particulier pour certains paramètres template

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

Classe template générale

```
template <typename TYPE>
class vecN<TYPE,2>
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    TYPE const& operator[](int index) const;

    TYPE const& x() const;
    TYPE const& 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)

Specialisation de template

```
template <typename TYPE>
class vecN<TYPE,2>
{
public:
    TYPE& operator[](int index);
    TYPE const& operator[](int index) const;

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

    vecN<TYPE,3> cross(vecN<TYPE,3> const& vec) const;

private:
    TYPE x_data,y_data,z_data;
};
```

Spécialisation vecN de taille 3

Accès au produit vectoriel

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> TYPE const& vecN<TYPE,2>::x() const {return x_data;}
template <typename TYPE> TYPE const& vecN<TYPE,2>::y() const {return y_data;}

template <typename TYPE>
vecN<TYPE,3> vecN<TYPE,3>::cross(vecN<TYPE,3> const& 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

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

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>

Spécialisation totale

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

```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>;
```

```cpp
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

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

Utilisation transparente

Spécialisation des fonctions

- Seule les classes peuvent être partiellement spécialisées.
  Pas les fonctions.

- Une spécialisation de fonction doit être totale.

- Les fonctions fonctionnent plutôt par surchage, éviter de mélanger spécialisation et surcharge.

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 object_with_scalar_multiply
{
    virtual void scalar_multiply_polymorph(float s)=0;
};

struct vec2_polymorphic : public object_with_scalar_multiply
{
    vec2_polymorphic(float x_arg,float y_arg);
    void scalar_multiply_polymorphic(float s);
    int x,y;
};
```

```
vec2_polymorphic::vec2_polymorphic(float x_arg,float y_arg)
    :x(x_arg),y(y_arg)
{}

void vec2_polymorphic::scalar_multiply_polymorphic(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)