C++

Création de classes
Opérateurs

Classe vec2

vec2.hpp

En têtes

```
#pragma once

struct vec2
{
    float x;
    float y;

    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);
};
```

vec2.cpp

Implémentation

```
#include "vec2.hpp"

vec2::vec2()
    :x(0),y(0)
{

}

vec2::vec2(float x_param,float y_param)
    :x(x_param),y(y_param)
{

}
```

main.cpp

Appels à vec2

```
#include "vec2.hpp"

#include <iostream>

int main()
{
    vec2 v0(1.4,5.5);
    std::cout<<v0.x<<std::endl;
    return 0;
}
```

En-tête de classe vec2

vec2.hpp

```
#pragma once

struct vec2
{
    float x;
    float y;

    vec2();                    deux constructeurs prévus
    vec2(float x_param,float y_param);
};
```

Rem. Si on ne donne aucun constructeur, le compilateur génère un constructeur "vide" sans paramètre par défaut.

Implémentation classe vec2

vec2.cpp

```
#include "vec2.hpp"

vec2::vec2()
    :x(0.0f),y(0.0f)
{

}

vec2::vec2(float x_param,float y_param)
    :x(x_param),y(y_param)
{

}
```

résolution de portée indique que l'on travaille sur la classe vec2

liste d'initialisation

rien d'autre à faire

Encapsulation des attributs

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);
};
```

partie privée non accessible hors de la classe

On ne peut plus accéder directement à x et y

Accesseurs

Manipulation x,y *façon Java*

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float get_x() const;
    float get_y() const;
    void set_x(float x);
    void set_y(float y);
};
```

get ne modifie pas les attributs de la classe (~ final de Java)

Accesseurs

Manipulation x,y *façon Java*

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float get_x() const;
    float get_y() const;
    void set_x(float x);
    void set_y(float y);
};
```

vec2.cpp

```
#include "vec2.hpp"

vec2::vec2()
    :x_value(0.0f),y_value(0.0f) {}

vec2::vec2(float x_param,float y_param)
    :x_value(x_param),y_value(y_param) {}

float vec2::get_x() const {return x_value;}
float vec2::get_y() const {return y_value;}

void vec2::set_x(float x) {x_value=x;}
void vec2::set_y(float y) {y_value=y;}
```

main.cpp

```
#include "vec2.hpp"

#include <iostream>

int main()
{
    vec2 v0(1.4f,5.5f);
    v0.set_x(2.2f);
    v0.set_y(v0.get_x()+2.1f);
    std::cout<<v0.get_x()<<","<<v0.get_y()<<std::endl;

    return 0;
}
```

pas très aggréable

Accesseurs

Manipulation x,y plus proche des math

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();
};
```

rôle du set()

équivalent d'un get()

main.cpp

```
#include "vec2.hpp"

#include <iostream>

int main()
{
    vec2 v0(1.4f,5.5f);
    v0.x()=2.2f;
    v0.y()=v0.x()+2.1f;
    std::cout<<v0.x()<<","<<v0.y()<<std::endl;

    return 0;
}
```

MAJ de référence

simple retour *const*

Accesseurs

Manipulation x,y plus proche des math

vec2.hpp

```cpp
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();
};
```

main.cpp

```cpp
#include "vec2.hpp"

#include <iostream>

int main()
{
    vec2 v0(1.4f,5.5f);
    v0.x()=2.2f;
    v0.y()=v0.x()+2.1f;
    std::cout<<v0.x()<<","<<v0.y()<<std::endl;

    return 0;
}
```

vec2.cpp

```cpp
#include "vec2.hpp"

vec2::vec2()
    :x_value(0.0f),y_value(0.0f) {}

vec2::vec2(float x_param,float y_param)
    :x_value(x_param),y_value(y_param) {}

float vec2::x() const {return x_value;}
float vec2::y() const {return y_value;}

float& vec2::x() {return x_value;}
float& vec2::y() {return y_value;}
```

Accesseurs

Manipulation x,y plus proche des math

Rem. En retournant une référence
la fonction externe retrouve l'accès à la variable

=> Encapsulation peu pertinente

Pour un vec2, accès direct aux attribut est OK

Contrairement aux "*standard Java*", l'accès aux attributs peut être toléré dans certains cas.

Fonction: produit scalaire

Deux approches:

1- Fonction membre (orientation Java)

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();

    float dot(const vec2& v);
};
```

vec2.cpp

```
float vec2::dot(const vec2& v)
{
    return x_value*v.x()+y_value*v.y();
}
```

main.cpp

```
vec2 v0(1.4f,5.5f);
vec2 v1(2.2f,4.8f);

float s=v0.dot(v1);

std::cout<<s<<std::endl;
```

Fonction: produit scalaire

Deux approches:

2- Fonction simple

Simple fonction
pas de vec2::

vec2.hpp

```
#pragma once

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();
};

float dot(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
float dot(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    return v1.x()*v2.x()+v1.y()*v2.y();
}
```

main.cpp

```
vec2 v0(1.4f,5.5f);
vec2 v1(2.2f,4.8f);

float s=dot(v0,v1);

std::cout<<s<<std::endl;
```

Fonction: produit scalaire

Deux approches: fonction membre VS fonction externe

Orienté Objet

```
float dot(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    return v1.x()*v2.x()+v1.y()*v2.y();
}
```

```
vec2 v0(1.4f,5.5f);
vec2 v1(2.2f,4.8f);

float s=v0.dot(v1);

std::cout<<s<<std::endl;
```

Avantage:

Héritage, polymorphisme

Inconvénient:

Non symétrique
Accès aux attributs privé de l'un et pas de l'autre

Orienté Fonctionnel

```
float vec2::dot(const vec2& v)
{
    return x_value*v.x()+y_value*v.y();
}
```

```
vec2 v0(1.4f,5.5f);
vec2 v1(2.2f,4.8f);

float s=dot(v0,v1);

std::cout<<s<<std::endl;
```

Avantage:

Symétrique
Encapsulation mieux preservée

Inconvénient:

Pas de polymorphisme (redéfinition de la fonction)

Effective C++: Prefer non-member non-friend functions to member fonctions

Scott Meyers

Egalité entre vecteurs

Version fonction simple (pourrait être une fonction membre)

vec2.hpp

```
bool is_equal(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
bool is_equal(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    float epsilon=1e-6f;
    if(std::abs(v1.x()-v2.x())<epsilon &&
            std::abs(v1.y()-v2.y())<epsilon)
        return true;
    return false;
}
```

Ne jamais
comparer des float/double
avec ==

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(1.4f,5.5f);
    vec2 v1(2.2f,4.8f);
    vec2 v2(1.4f,5.5f);

    std::cout<<is_equal(v0,v1)<<std::endl;
    std::cout<<is_equal(v0,v2)<<std::endl;

    return 0;
}
```

Opérateurs

On aimerait pouvoir écrire

```
v1==v2
```

plutôt que

```
is_equal(v1,v2) //ou v1.is_equal(v2)
```

- Opérateur = *fonction* qui est appelée par un symbol particulier

En C++, on peut définir l'opérateur ==

Opérateurs ==

vec2.hpp

```
bool operator==(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
bool operator==(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    float epsilon=1e-6f;
    if(std::abs(v1.x()-v2.x())<epsilon &&
            std::abs(v1.y()-v2.y())<epsilon)
        return true;
    return false;
}
```

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(1.4f,5.5f);
    vec2 v1(2.2f,4.8f);
    vec2 v2(1.4f,5.5f);

    if(v0==v1)
        std::cout<<"v0==v1"<<std::endl;
    if(v0==v2)
        std::cout<<"v0==v2"<<std::endl;


    return 0;
}
```

Opérateurs !=

Très similaire à ==

vec2.hpp

```
bool operator==(const vec2& v1,const vec2& v2);
bool operator!=(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
bool operator!=(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    return !(v1==v2);
}
```

Réutiliser
ce que l'on a déjà codé
(surtout pas de copier-coller)

```
if(v0!=v1)
    std::cout<<"v0!=v1"<<std::endl;
```

main.cpp

Opérateurs en fonctions membres

Au choix, les opérateurs peuvent être membres de la classe

vec2.hpp

```
class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();

    bool operator==(const vec2& v)const;
    bool operator!=(const vec2& v)const;

};
```

vec2.cpp

```
bool vec2::operator==(const vec2& v)const;
{
    float epsilon=1e-6f;
    if(std::abs(x_value-v.x())<epsilon &&
            std::abs(y_value-v.y())<epsilon)
        return true;
    return false;
}

bool vec2::operator!=(const vec2& v)const;
{
    return !(*this==v);
}
```

this = pointeur
sur l'objet courant

Aucune différence à l'utilisation `v1==v2`

Liberté des paramètres

C++ = liberté du programmeur pour définir ses operateurs

vec2.hpp

```
bool operator==(const vec2& v1,const std::string& v2);
```

vec2.cpp

```
bool operator==(const vec2& v1,const std::string& v2)
{
    if(static_cast<unsigned int>(v1.x()+v1.y())==v2.length())
        return true;
    return false;
}
```

Les paramètres peuvent être de type différents

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    std::string s1="schtroumpf";
    std::string s2="maison";

    if(v0==s1)
        std::cout<<"v0==schtroumpf"<<std::endl;
    if(v0==s2)
        std::cout<<"v0==maison"<<std::endl;

    return 0;
}
```

Règle de bonne programmation

- Ne jamais utiliser les opérateur si le sens n'est pas trivial
- Ne pas sur-utiliser les opérateurs

  rend rapidement le code illisible

v1+v2 { v1.x-v2.x;} : mauvaise idée

v1=="schtroumpf" : mauvaise idée

...

Opérateur +=

1er paramètre ref non const

```
vec2& operator+=(vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.hpp

```
vec2& operator+=(vec2& v1,const vec2& v2)
{
    v1.x()+=v2.x();
    v1.y()+=v2.y();

    return v1;
}
```

vec2.cpp

Traditionnellement
+= retourne une référence
vers la variable modifiée.

Permet d'imiter le comportement C
i +=3 += 9;

(Rarement utilisé, retour void est
également possible)

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    vec2 v1(1.2f,3.3f);

    v1+=v0;

    std::cout<<v1.x()<<","<<v1.y()<<std::endl;

    return 0;
}
```

Opérateur += (version fonction membre)

un seul paramètre

vec2.hpp

```
vec2& operator+=(const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
vec2& vec2::operator+=(const vec2& v2)
{
    x_value+=v2.x();
    y_value+=v2.y();

    return *this;
}
```

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    vec2 v1(1.2f,3.3f);

    v1+=v0;

    std::cout<<v1.x()<<","<<v1.y()<<std::endl;

    return 0;
}
```

Opérateur +

vec2.hpp

```
vec2 operator+(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

vec2.cpp

```
vec2 operator+(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    vec2 temp=v1;
    temp+=v2;
    return temp;
}
```

réutiliser ce qui à déjà été codé
(mieux que `vec2(v1.x()+v2.x(),v1.y()+v2.y());`)

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    vec2 v1(1.2f,3.3f);
    vec2 v2=v0+v1;

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

    return 0;
}
```

Opérateur + (fonction membre)

vec2.hpp

```
vec2 operator+(const vec2& v2) const;
```

vec2.cpp

```
vec2 vec2::operator+(const vec2& v2) const
{
    vec2 temp=*this;
    temp+=v2;
    return temp;
}
```

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    vec2 v1(1.2f,3.3f);
    vec2 v2=v0+v1;

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

    return 0;
}
```

Opérateur -

Similaire à l'opérateur +

```
vec2& operator-=(vec2& v1,const vec2& v2)
{
    v1.x()-=v2.x();
    v1.y()-=v2.y(); return v1;
}
vec2 operator-(const vec2& v1,const vec2& v2)
{
    vec2 temp=v1;
    temp-=v2;
    return temp;
}
```

Opérateur *= et *

vec2.hpp

```
vec2& operator*=(vec2& v,float s);
vec2 operator*(const vec2& v,float s);
vec2 operator*(float s,const vec2& v);
```

2 fonctions différentes
asymétrique

```
vec2& operator*=(vec2& v,float s)
{
    v.x()*=s;
    v.y()*=s;
    return v;
}

vec2 operator*(const vec2& v,float s)
{
    vec2 temp=v;
    temp*=s;
    return temp;
}

vec2 operator*(float s,const vec2& v)
{
    return v*s;
}
```

réutilisation

vec2.cpp

main.cpp

```
vec2 v0(6.4f,4.5f);
vec2 v1=v0*2.0f;
vec2 v2=2.0f*v0;
```

deux types d'appels possibles

Rem.
On ne peut pas définir
float * vec2 en tant que
fonction membre standard

Opérateur *= et *

Doit-on définir:

```
vec2 operator*(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

Que signifie ? v1*v2 ?

- Produit composante à composante ?
- Produit scalaire ?
- Produit vectoriel ?

Dans le cas général, un doute subsiste

=> Meilleur solution: ne pas le définir

Evite de l'utiliser sans s'en rendre compte
(erreur silencieuse)

Opérateur /= et /

Similaire à l'opérateur *

Uniquement vec2/float, et pas float/vec2

Attention à ne pas diviser par 0

```
vec2& operator/=(vec2& v,float s)
{
    float epsilon=1e-6f;
    if(std::fabs(s)<epsilon)
    {
        std::cout<<"Division par zero"<<std::endl;
        return v;
    }

    v.x()/=s;
    v.y()/=s;

    return v;
}

vec2 operator/(const vec2& v,float s)
{
    vec2 temp=v;
    temp/=s;
    return temp;
}
```

Opérateur négation unaire

- Opérateur s'appliquant entre 2 paramètres: opérateur binaire
- Opérateur s'appliquant sur un seul paramètre: opérateur unaire

ex. `-vec2` : négation(vec2)

vec2.hpp

```
vec2 operator-(const vec2& v);
```

vec2.cpp

```
vec2 operator-(const vec2& v)
{
    return vec2(-v.x(),-v.y());
}
```

main.cpp

```
vec2 v0(6.4f,4.5f);
vec2 v1=-v0;

std::cout<<v1.x()<<","<<v1.y()<<std::endl;
```

Opérateur négation unaire

Cas d'une fonction membre (pas de paramètres)

```
vec2 operator-() const;
```

vec2.hpp

```
vec2 vec2::operator-() const
{
    return vec2(-x_value,-y_value);
}
```

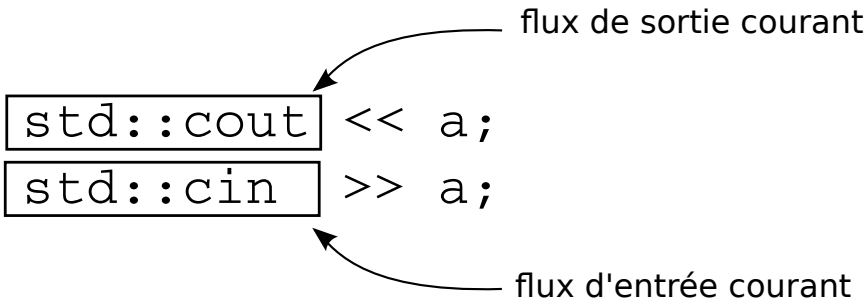
vec2.cpp

Opérateur flux de sortie

Les affichages, gestions de fichiers, mécanismes d'I/O fonctionnent par flux en C++

flux ~ buffer FIFO

ex.



`<<` : symbol/opérateur traditionnel d'entrée dans le flux

`>>` : symbol/opérateur traditionnel de sortie du flux

Opérateur flux de sortie <<

vec2.hpp

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& s,const vec2& v);
```

vec2.cpp

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& s,const vec2& v)
{
    s<<v.x()<<","<<v.y();
    return s;
}
```

Envoie dans le flux de sortie

Retourne le flux

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    std::cout<<v0<<std::endl;

    return 0;
}
```

affiche 6.4,4.5

std::**o**stream

flux de sortie(**O**utput **Stream**)

Opérateur flux de sortie <<

Flux est générique:
fonctionne directement pour des fichiers

```
#include "vec2.hpp"

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

int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);

    std::ofstream file_stream("mon_fichier.txt");
    file_stream<<v0;
    file_stream.close();

    return 0;
}
```

flux de sortie dans un fichier

fichier mon_fichier.txt contient
6.4,4.5

Classe vec2

```
#pragma once

#include <iostream>

class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();
};

vec2& operator+=(vec2& v1,const vec2& v2);
vec2 operator+(const vec2& v1,const vec2& v2);

vec2 operator-(const vec2& v);
vec2& operator-=(vec2& v1,const vec2& v2);
vec2 operator-(const vec2& v1,const vec2& v2);

vec2& operator*=(vec2& v,float s);
vec2 operator*(const vec2& v,float s);
vec2 operator*(float s,const vec2& v);

vec2& operator/=(vec2& v,float s);
vec2 operator/(const vec2& v,float s);

bool operator==(const vec2& v1,const vec2& v2);
bool operator!=(const vec2& v1,const vec2& v2);

std::ostream& operator<<(std::ostream& s,const vec2& v);

float dot(const vec2& v1,const vec2& v2);
```

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    vec2 v1(4.1f,2.2f);
    vec2 v2(1.1f,-2.5f);

    std::cout<< 5.0f*(v0-2.0f*v1)-v2/1.9f <<std::endl;

    return 0;
}
```

Opérations mathématiques
ressemble à des maths

- Plus lisible et simple d'utilisation que C
- Plus lisible et plus rapide que Java
- Plus structuré que Matlab

Opérateur [ ]

vec2.hpp

```
class vec2
{
    float x_value;
    float y_value;

public:
    vec2();
    vec2(float x_param,float y_param);

    float x() const;
    float y() const;
    float& x();
    float& y();

    float operator[](int k) const;
};
```

main.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);

    std::cout<< v0[0] <<std::endl;
    std::cout<< v0[1] <<std::endl;
    std::cout<< v0[2] <<std::endl;

    return 0;
}
```

vec2.cpp

```
float vec2::operator[](int k) const
{
    switch(k)
    {
    case 0:
        return x_value;
    case 1:
        return y_value;
    default:
        std::cerr<<"Erreur ["<<k<<"]"<<std::endl;
        exit(1);
    }
}
```

comportement d'un tableau
(sécurité en +)

Opérateur [ ]

Version référence non const

```
float& vec2::operator[](int k)
{
    switch(k)
    {
    case 0:
        return x_value;
    case 1:
        return y_value;
    default:
        std::cerr<<"Erreur ["<<k<<"]"<<std::endl;
        exit(1);
    }
}
```

vec2.cpp

```
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    v0[1]=12.4f;
    std::cout<<v0<<std::endl;

    return 0;
}
```

Manipulation comme un tableau

Opérateur ( )

- L'opérateur [ ] ne peut prendre qu'un seul paramètre:
  => m[4,5] est impossible en C++

- L'opérateur ( ) peut prendre plusieurs paramètres:
  => m(4,5)

```cpp
float vec2::operator()(int k) const
{
    return (*this)[k];
}
float& vec2::operator()(int k)
{
    return (*this)[k];
}
```

vec2.cpp

```cpp
float operator()(int k) const;
float& operator()(int k);
```

vec2.hpp

```cpp
int main()
{
    vec2 v0(6.4f,4.5f);
    v0(1)=12.4f;
    std::cout<<v0<<std::endl;

    return 0;
}
```

main.cpp

Fonctions génériques

Exemple d'utilisation de l'opérateur ()

Classe symbolisant une fonction

```
class gaussian
{
public:
    gaussian(float x0,float sigma);
    float operator()(float x) const;
private:
    float x0;
    float sigma;
};
```

```
gaussian::gaussian(float x0_param,float sigma_param)
    :x0(x0_param),sigma(sigma_param)
{}

float gaussian::operator()(float x) const
{
    return std::exp( -(x-x0)*(x-x0) / sigma );
}
```

```
gaussian g(1.0f,0.5f);

std::cout<<g(0.8)<<std::endl;
std::cout<<g(0.9)<<std::endl;
std::cout<<g(1.0)<<std::endl;
std::cout<<g(1.1)<<std::endl;
std::cout<<g(1.2)<<std::endl;
```

Paramètres

Utilisation sous forme y=f(x)

Fonctions génériques

Utilisation d'un objet pour encapsuler une fonction
Passage en paramètre aisé

```
void affiche_valeur(const gaussian& g)
{
    std::cout<<g(0.8)<<std::endl;
    std::cout<<g(0.9)<<std::endl;
    std::cout<<g(1.0)<<std::endl;
    std::cout<<g(1.1)<<std::endl;
    std::cout<<g(1.2)<<std::endl;
}

int main()
{
    gaussian g1(1.0f,0.5f);
    gaussian g2(2.1f,7.8f);

    affiche_valeur(g1);
    affiche_valeur(g2);

    return 0;
}
```

Utilisation d'un objet comme une fonction

=> Foncteur (/Functor)

Remplace avantageusement les pointeurs de fonctions

- Plus lisible, plus simple
- Plus rapide!

Fonctions génériques

Exemple d'afficheur de fonction/courbe générique

```
void curve_drawer(const generic_function& f)
{
    int N=30;

    float x0=-3.0f;
    float x1=+3.0f;

    float dx=1.0f/N;

    for(int k=0;k<N;++k)
    {
        float x=x0+k*dx*(x1-x0);
        float y=f(x);

        //affichage d'un point
        std::cout<<x<<","<<y<<std::endl;
    }
}
```

Fonctions génériques

Exemple d'afficheur de fonction/courbe générique

```
#pragma once

class generic_function                    classe polymorphe
{                                         (virtuelle pure)
public:
    virtual float operator()(float x) const =0;
    ~generic_function(){}
};

class cosinus : public generic_function
{
public:
    cosinus(float frequency);
    float operator()(float x) const;
private:
    float frequency;
};

class gaussian: public generic_function
{
public:
    gaussian(float x0,float sigma);
    float operator()(float x) const;
private:
    float x0;
    float sigma;
};
```

```
#include "function.hpp"

#include <cmath>
#include <iostream>

cosinus::cosinus(float frequency_param)
    :frequency(frequency_param)
{}

float cosinus::operator()(float x) const
{
    return std::cos(2.0f*M_PI*frequency*x);
}

gaussian::gaussian(float x0_param,float sigma_param)
    :x0(x0_param),sigma(sigma_param)
{}

float gaussian::operator()(float x) const
{
    return std::exp( -(x-x0)*(x-x0) / sigma );
}
```

```
int main()
{
    cosinus ma_fonction_1(1.24f);
    gaussian ma_fonction_2(1.0f,0.5f);
    curve_drawer(ma_fonction_1);
    curve_drawer(ma_fonction_2);

    return 0;
}
```

Fonctions génériques

Exemple d'afficheur de fonction/courbe générique

Polymorphisme à éviter: lent

=> Template

```cpp
#pragma once

class cosinus
{
public:
    cosinus(float frequency);
    float operator()(float x) const;
private:
    float frequency;
};

class gaussian
{
public:
    gaussian(float x0,float sigma);
    float operator()(float x) const;
private:
    float x0;
    float sigma;
};
```

Plus besoin d'héritage

Paramètre template

```cpp
template <typename T>
void curve_drawer(const T& f)
{
    int N=30;

    float x0=-3.0f;
    float x1=+3.0f;

    float dx=1.0f/N;

    for(int k=0;k<N;++k)
    {
        float x=x0+k*dx*(x1-x0);
        float y=f(x);

        //affichage d'un point
        std::cout<<x<<","<<y<<std::endl;
    }
}
```

Paramètre connu à la compilation
=> plus rapide que le polymorphisme