Toolkit graphique Qt

Dessin interactif

Machines à états

Qt Designer

Qt
et graphique

Eric Lecolinet - Télécom ParisTech

www.telecom-paristech.fr/~elc

29 février 2016

Toolkit graphique Qt
Dessin interactif
Machines à états
Qt Designer

Qt
et graphique

Eric Lecolinet - Télécom ParisTech
www.telecom-paristech.fr/~elc

29 février 2016

Qt

Un environnement complet

- Dont une boîte à outils graphique puissante et multiplateformes
- Mais aussi tout un ensemble de bibliothèques utilitaires et d'extensions
- Utilisé dans de nombreux produits libres (KDE…) ou propriétaires

Développement et licences

- Développé par **TrollTech**, puis **Nokia,** puis **Digia**
  - http://qt.digia.com
- Licences **LGPL** (gratuite) et commerciales

- Qt WebEngine WidgetsThe Qt WebEngine Widgets module provides a web browser engine as well as C++ classes to render and interact with web content.
- Qt WebKit Widgets The Qt WebKit Widgets module provides a web browser engine as well as C++ classes to render and interact with web content.
- Qt3DCore Qt3D Core module contains functionality to support near-realtime simulation systems
- Qt3DInput Qt3D Input module provides classes for handling user input in applications using Qt3D
- Qt3DRenderer Qt3D Renderer module contains functionality to support 2D and 3D rendering using Qt3D
- QtBluetooth Enables basic Bluetooth operations like scanning for devices and connecting them
- QtConcurrent Qt Concurrent module contains functionality to support concurrent execution of program code
- QtCore Provides core non-GUI functionality
- QtDBus Qt D-Bus module is a Unix-only library that you can use to perform Inter-Process Communication using the D-Bus protocol
- QtDesigner Provides classes to create your own custom widget plugins for Qt Designer and classes to access Qt Designer components
- QtGui Qt GUI module provides the basic enablers for graphical applications written with Qt
- QtHelp Provides classes for integrating online documentation in applications
- QtLocation Provides C++ interfaces to retrieve location and navigational information
- QtMultimedia Qt Multimedia module provides audio, video, radio and camera functionality
- QtNetwork Provides classes to make network programming easier and portable
- QtNfc An API for accessing NFC Forum Tags
- QtOpenGL Qt OpenGL module offers classes that make it easy to use OpenGL in Qt applications
- QtPositioning Positioning module provides positioning information via QML and C++ interfaces
- QtPrintSupport Qt PrintSupport module provides classes to make printing easier and portable
- QtQml C++ API provided by the Qt QML module
- QtQuick Qt Quick module provides classes for embedding Qt Quick in Qt/C++ applications
- QtQuickWidgets C++ API provided by the Qt Quick Widgets module
- QtScript Qt Script module provides classes for making Qt applications scriptable
- QtScriptTools Provides additional components for applications that use Qt Script
- QtSensors Provides classes for reading sensor data
- QtSerialPort List of C++ classes that enable access to a serial port
- QtSql Provides a driver layer, SQL API layer, and a user interface layer for SQL databases
- QtSvg Qt SVG module provides functionality for handling SVG images
- QtTest Provides classes for unit testing Qt applications and libraries
- QtUiTools Provides classes to handle forms created with Qt Designer
- QtWebChannel List of C++ classes that provide the Qt WebChannel functionality
- QtWebSockets List of C++ classes that enable WebSocket-based communication
- QtWidgets Qt Widgets module extends Qt GUI with C++ widget functionality
- QtXml Qt XML module provides C++ implementations of the SAX and DOM standards for XML
- QtXmlPatterns Qt XML Patterns module provides support for XPath, XQuery, XSLT and XML Schema validat

Toolkit graphique Qt

Boîte à outils graphique

- en **C++** à la base
- mais également extension **Qt Quick** basée sur le langage déclaratif QML

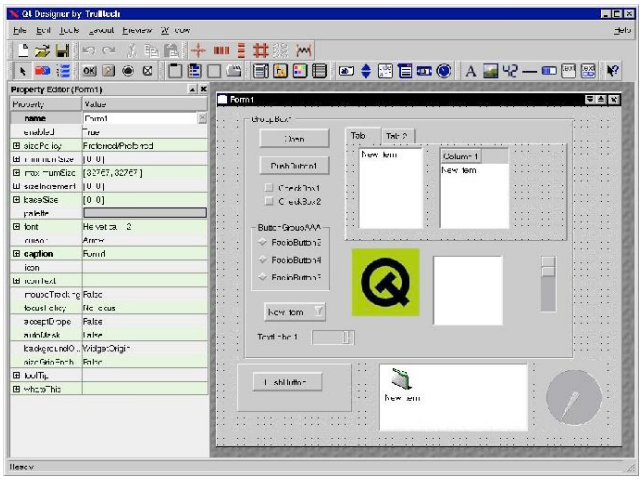
Multi-plateformes

- principaux **OSs** : Windows, Mac OS X, Linux/X11
- et plate-formes mobiles : iOS, Android, WinRT

Outils et facilités

Outils de développement

- **QtCreator** / QtDesigner
- qmake
- Qt Linguist
- Qt Assistant
- etc.



Facilités

- internationalisation:
  - **QString** et **Unicode**
- sockets, **XML**, **SQL**, outils **Web**, **OpenGL**, etc.

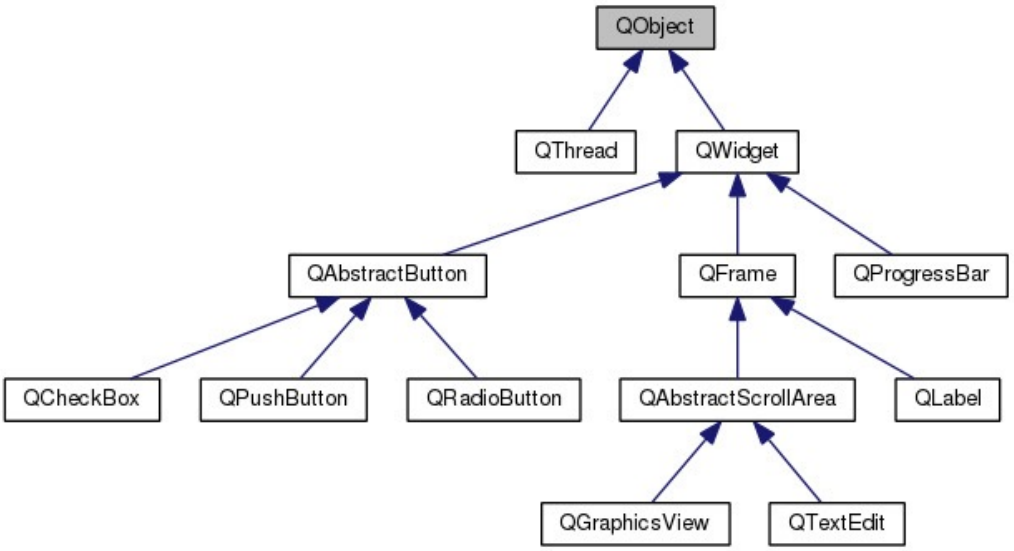
Liens

Liens utiles

- **Site Télécom** : http://www.telecom-paristech.fr/~elc/qt
- **Site général Qt** : http://www.qt.io/
- **Qt 5.5** :
  - Page principale : http://doc.qt.io/qt-5/
  - Toutes les classes (par modules) : http://doc.qt.io/qt-5/modules-cpp.html
- **Qt Widgets :**
  - Documentation : http://doc.qt.io/qt-5/qtwidgets-index.html
  - Liste des classes : http://doc.qt.io/qt-5/qtwidgets-module.html

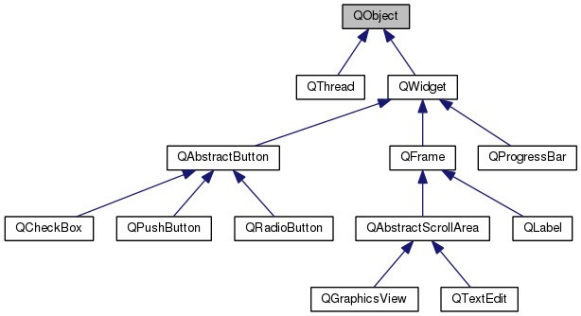
Principaux widgets

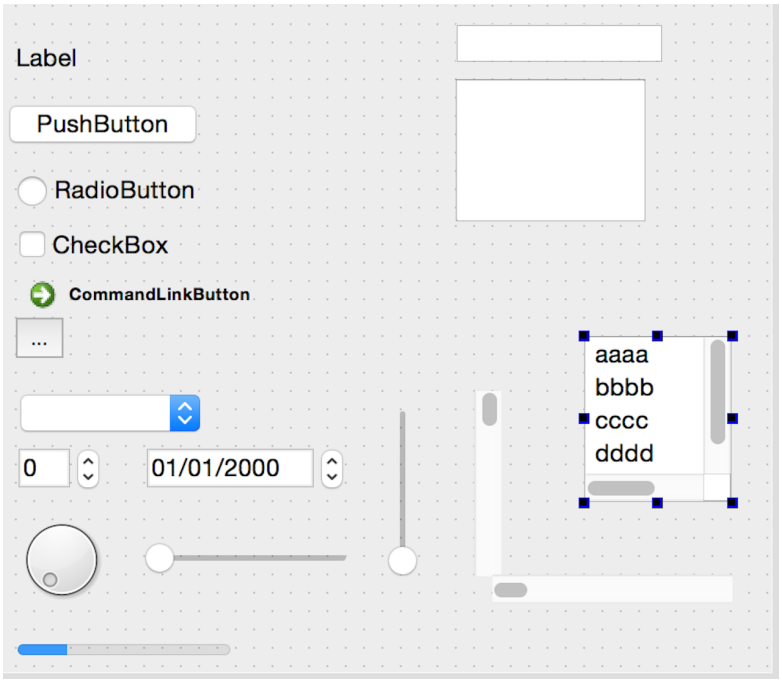
Arbre d'héritage (très réduit)



Principaux widgets

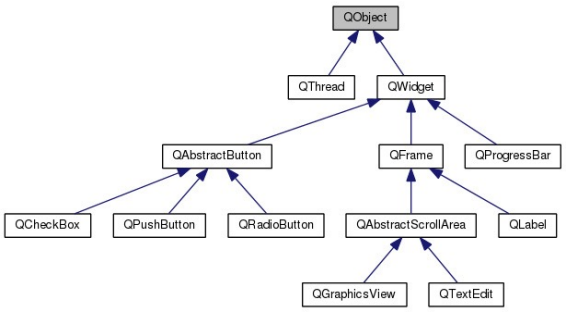
Interacteurs

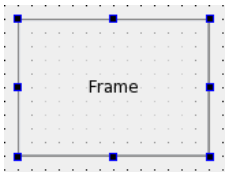




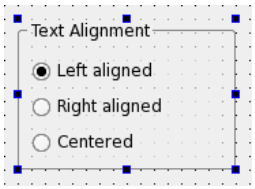
Principaux widgets

Conteneurs





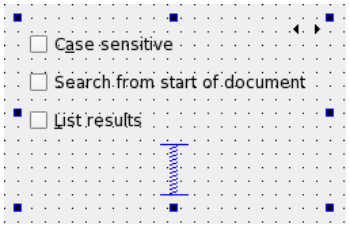
QFrame



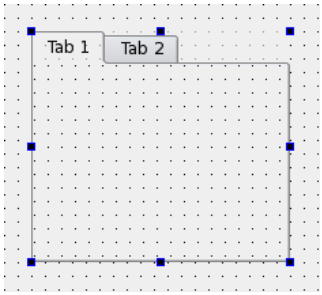
QGroupBox

QWidget

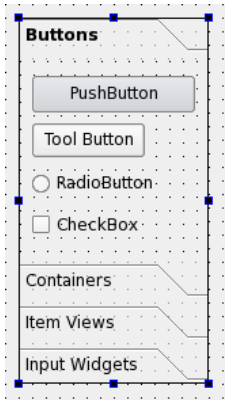
QDockWidget



QStackedWidget



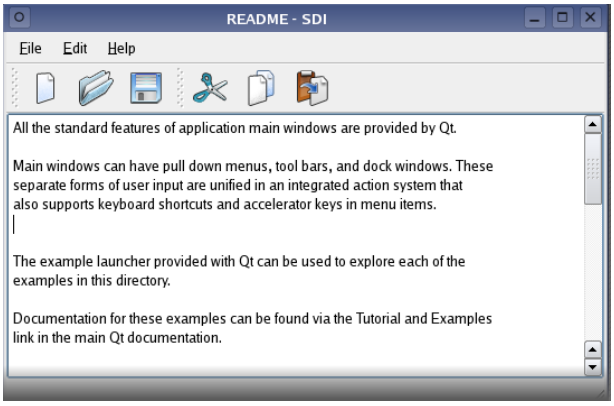
QTabWidget



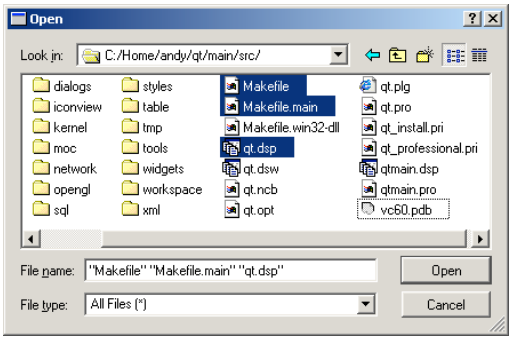
QToolbox

Principaux widgets

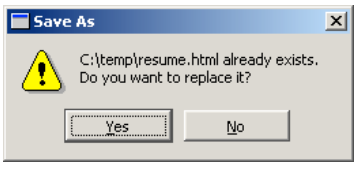
Fenêtre principale, boîtes de dialogue, menus



QMainWidget



QFileDialog



QMessageBox

Hello Word!

```
#include <QApplication>
#include <QLabel>

int main( int argc, char **argv ) {
    QApplication * app = new QApplication(argc, argv);
    QLabel * hello = new QLabel("Hello Qt!");
    hello->show( );
    return app->exec( );
}
```

Remarques

- pointeurs C++ : attention aux **->** et aux *
- hello->show( ) => le **QLabel** devient le widget principal
- **exec**( ) lance la boucle de gestion des événements

Variante (objets dans la pile)

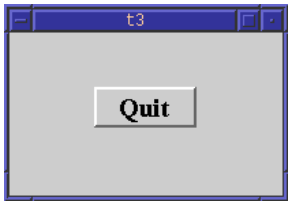
```
#include <QApplication>
#include <QLabel>

int main( int argc, char **argv ) {
    QApplication app(argc, argv);
    QLabel hello("Hello Qt!");
    hello.resize(100, 30);
    hello.show( );
    return app.exec( );
}
```

Remarques

- la variable **contient l'objet** => **.** pour accéder aux champs et non **->**
- attention : objets **créés dans la pile** => détruits en fin de fonction

Avec un conteneur

```
#include <QApplication>       // inclure headers adéquats !
#include <QPushButton>
#include <QWidget>
#include <QFont>

int main( int argc, char **argv ) {
    QApplication * app = new QApplication(argc, argv);

   QWidget * box = new QWidget();
   box->resize(200, 120);

   QPushButton * quitBtn = new QPushButton("Quit", box);      // box sera le parent de quitBtn
   quitBtn->resize(100, 50);
   quitBtn->move(50, 35);
   quitBtn->setFont( QFont("Times", 18, QFont::Bold) );

   box->show( );
   return app->exec( );
}
```

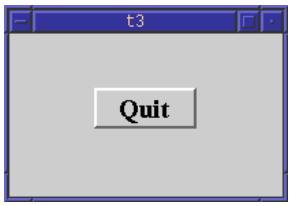


Le parent est passé en argument du constructeur

- pas d'argument (NULL) pour les "top-level" widgets

Signaux et slots

```
#include <QApplication>
#include <QPushButton>
#include <QWidget>
#include <QFont>

int main( int argc, char **argv ) {
    QApplication * app = new QApplication(argc, argv);

   QWidget * box = new QWidget();
   box->resize(200, 120);

   QPushButton * quitBtn = new QPushButton("Quit", box);
   quitBtn->resize(100, 50);
   quitBtn->move(50, 35);
   quitBtn->setFont( QFont("Times", 18, QFont::Bold) );

   QObject::connect( quitBtn, SIGNAL(clicked( )), app, SLOT(quit( )) );      // signaux et slots

   box->show( );
   return app->exec( );
}
```



Signaux et slots

Un signal est émis vers le monde extérieur

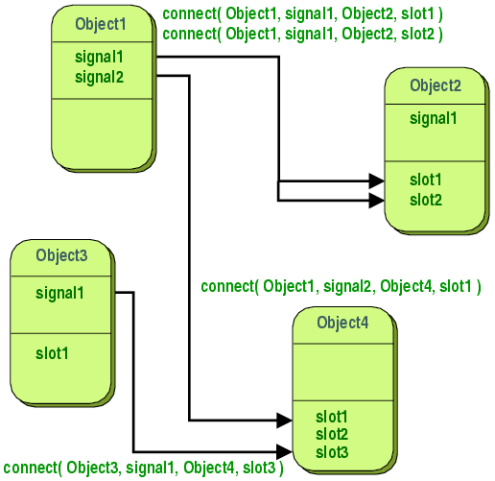
- par un objet quand il **change d'état**
- on **n'indique pas** à qui il s'adresse

Un slot est un récepteur

- en pratique c'est une **méthode**

Les signaux sont connectés à des slots

- les **slots** sont alors appelés automatiquement



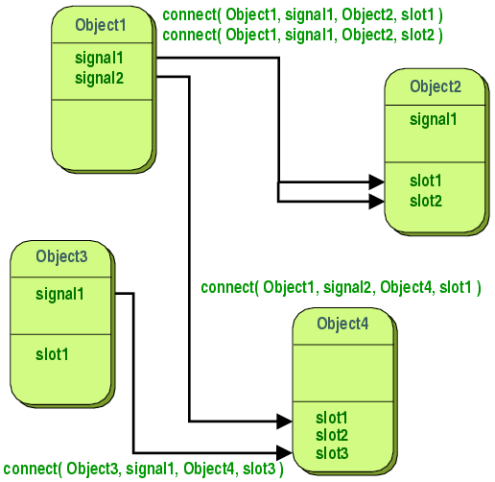
Signaux et slots

Modularité, flexibilité

- le même **signal** peut être connecté à plusieurs **slots**
- plusieurs **signaux** peuvent être connectés à un même **slot**

Noter que

- l'émetteur **n'a pas besoin de connaître** le ou les récepteur(s)
- il **ne sait pas** si le signal est reçu
- le récepteur n'a **pas besoin de connaître** l'émetteur



=> vers modèle multi-agents et programmation par composants

Connexion

Typage fort

- les **types** des paramètres des signaux et des slots doivent être les **mêmes**
- un slot peut avoir **moins** de paramètres qu'un signal

```
QObject::connect( quitBtn, SIGNAL(clicked( )), app, SLOT(quit( )) );
QObject::connect( x, SIGNAL(balanceChanged(int)), y, SLOT(setBalance(int)) );
QObject::connect( x, SIGNAL(balanceChanged(int)), app, SLOT(quit()) );
```

Remarques

- aspect central de Qt
- diffère de l'habituel mécanisme des **callbacks** ou l**isteners**

Avantages / inconvénients

- **SLOT** et **SIGNAL** sont des **macros = >** phase de **précompilation**

Déclaration de slot

Dans le fichier header (.h)

```
class BankAccount : public QObject {
    Q_OBJECT
private:
    int curBalance;
public:
    BankAccount( ) { curBalance = 0; }
    int getBalance( ) const { return curBalance; }
public slots:
    void setBalance( int newBalance );
signals:
    void balanceChanged( int newBalance );
};
```

- sous classe de **QObject**
- mot-clés **Q_OBJECT**, **slots** et **signals** pour précompilateur
- signaux pas implémentés, slots doivent être implémentés

Définition de slot

Dans le fichier source de l'implémentation (.cpp)

```
void BankAccount::setBalance(int newBalance)
{
    if (newBalance != curBalance) {
        curBalance = newBalance;
        emit balanceChanged(curBalance);
    }
}
```

- mot-clé **emit** pour **précompilateur**
- provoque l'**émission**
  - du signal balanceChanged
  - avec la nouvelle valeur de curBalance

Connexion

Connexion simple

```
BankAccount x, y;
connect( &x, SIGNAL(balanceChanged(int)), &y, SLOT(setBalance(int)) );
x.setBalance( 2450 );
```

- x est mis à 2450
- le signal balanceChanged() est émis
- il est reçu par le slot setBalance() de y
- y est mis à 2450

Connexion

Connexion dans les deux sens

```
BankAccount x, y;
connect( &x, SIGNAL(balanceChanged(int)), &y, SLOT(setBalance(int)) );
connect( &y, SIGNAL(balanceChanged(int)), &x, SLOT(setBalance(int)) );
x.setBalance( 2450 );
```

- **OK ?**

Connexion

Connexion dans les deux sens

```
BankAccount x, y;
connect( &x, SIGNAL(balanceChanged(int)), &y, SLOT(setBalance(int)) );
connect( &y, SIGNAL(balanceChanged(int)), &x, SLOT(setBalance(int)) );
x.setBalance( 2450 );
```

- **OK** : car test dans setBalance()

vérifier que la valeur a effectivement changé pour éviter les **boucles infinies** !

```
void BankAccount::setBalance(int newBalance)
{
    if (newBalance != curBalance) {
        curBalance = newBalance;
        emit balanceChanged(curBalance);
    }
}
```

Connexion

Propagation de signal

```
class Controller : public QObject {
   Q_OBJECT
signals:
    void changed(int);
    ....
};
```

```
connect( &x, SIGNAL(balanceChanged(int)), &controller, SIGNAL(changed(int)) );
```

Déconnexion

```
disconnect( &x, SIGNAL(balanceChanged(int)), &y, SLOT(setBalance(int)) );
```


Connexion

Nouvelle syntaxe

```
class BankAccount : public QObject {
    Q_OBJECT
private:
    int curBalance;
public:
    BankAccount( ) { curBalance = 0; }
    int getBalance( ) const { return curBalance; }
public slots:
    void setBalance( int newBalance );
signals:
    void balanceChanged( int newBalance );
};
```

```
BankAccount x, y;
connect(&x, &BankAccount::balanceChanged, &y, &BankAccount::setBalance);
x.setBalance( 2450 );
```

- utilise les **pointeurs de méthodes** de **C++**
- avantage : vérification de la **validité de la connexion** à la compilation
  - avec l'ancienne syntaxe c'est fait à l'exécution
- principal inconvénient : pas compatible avec QtQuick

Compilation

Meta Object Compiler (MOC)

- pré-processeur C++
- génère du code supplémentaire (tables de signaux / slots)
- permet aussi de récupérer le nom de la classe et de faire des test d'héritage
- **attention**: ne pas oublier le mot-clé **Q_OBJECT**

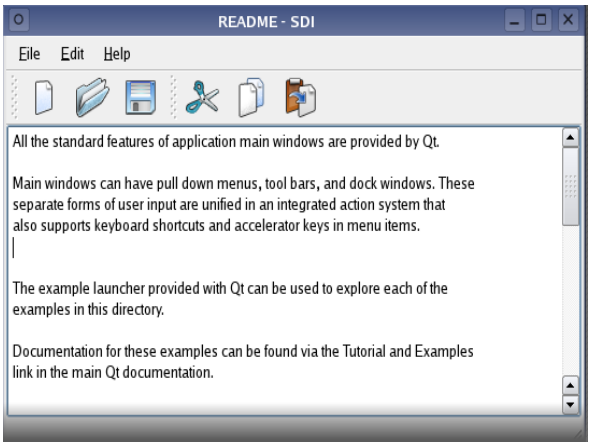
Utilisation de qmake

- dans le répertoire contenant les fichiers sources faire:
  - **qmake -project** // crée le fichier **xxx.pro** (décrit le projet)
  - **qmake** // crée le fichier **Makefile** (ou équivalent si IDE)
  - **make** // crée les fichiers **moc** (un par fichier ayant des slots),
    // et les fichiers binaires (*.o et exécutable)

Fenêtre principale (QMainWindow)

Zones prédéfinies pour:

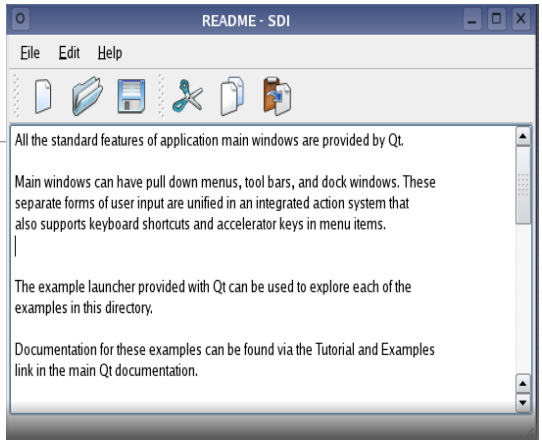
- barre de menu
- barre d'outils
- barre de statut
- zone centrale
- (et d'autres fonctionnalités…)



Utilisation:

- créer une sous-classe de **QMainWindow**
- dont le constructeur crée / ajoute des objets graphiques à cette fenêtre

Fenêtre principale



Dans le constructeur d'une classe dérivant de QMainWindow

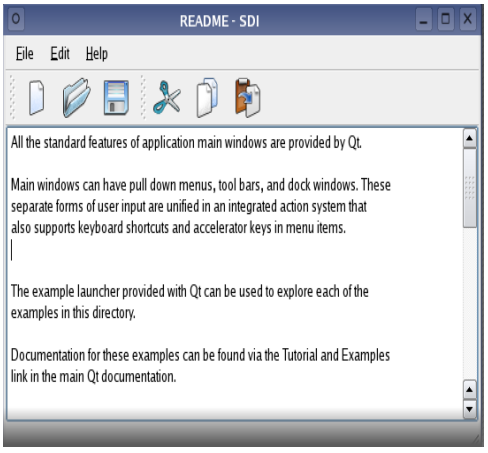
```
// menuBar() est une method de QMainWindow
QMenuBar * menuBar = this->menuBar( );
QMenu * fileMenu = menuBar->addMenu( tr ("&File") );

// new.png est un fichier qui sera spécifié dans un fichier de ressources .qrc
QAction * newAction = new QAction( QIcon(":new.png"), tr("&New..."), this);

newAction->setShortcut( tr("Ctrl+N"));          // accélérateur clavier
newAction->setToolTip( tr("New file"));         // bulle d'aide
newAction->setStatusTip( tr("New file"));       // barre de statut

fileMenu->addAction(newAction);                 // rajouter l'action au menu déroulant
                                                // connecter le signal à un slot de this
connect(newAction, SIGNAL(triggered( )), this, SLOT(open( )));
```


Fenêtre principale

Actions

- les actions peuvent s'ajouter **à la fois** dans les menus et les toolbars

```
QToolBar * toolBar = this->addToolBar( tr("File") );
toolBar->addAction(newAction);
```



Widget central

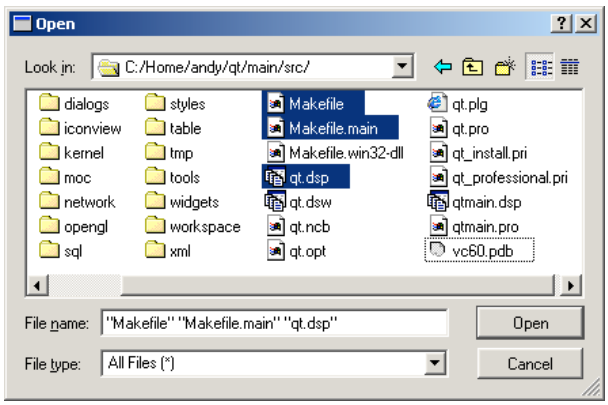
```
QTextEdit * text = new QTextEdit(this);
setCentralWidget(text);
```

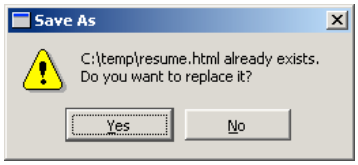
tr( )

- permet de traduire le texte (localisation)
- (à suivre)

Boîtes de dialogue

QFileDialog, QMessageBox

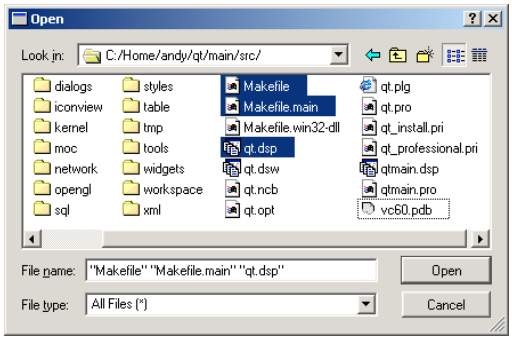




Boîte de dialogue modale

Solution générale

```
QFileDialog dialog (parent);
dialog.setFilter("Text files (*.txt)");
QStringList fileNames;

if (dialog.exec() == QDialog::Accepted) {
      fileNames = dialog.selectedFiles();
      QString firstName = fileNames[0];
      ...
}
```



Note :
dialog.exec() lance une boucle de gestion des événements secondaire

Solution simplifiée

```
QString fileName =
    QFileDialog::getOpenFileName( this,
                                  tr("Open Image"),                  // titre
                                  "/home/jana",                      // répertoire initial
                                  tr("Image Files (*.png *.jpg *.bmp)")  // filtre
                                  );
```

QString

Codage Unicode 16 bits

- Suite de **QChar**s
  - 1 caractère = 1 QChar de 16 bits (cas usuel)
  - 1 caractère = 2 QChars de 16 bits (pour valeurs > 65535)

- **Conversions** d'une QString :
  - **toAscii**( ) : ASCII 8 bits
  - **toLatin1**( ) : Latin-1 (ISO 8859-1) 8 bits
  - **toUtf8**( ) : UTF-8 Unicode multibyte (1 caractère = 1 à 4 octets)
  - **toLocal8Bit**( ) : codage local 8 bits

- **qPrintable** (const QString & str)
  - équivalent à : str.toLocal8Bit( ).constData( )

QFile

QFile

- lecture, écriture de fichiers
- exemples :
  - **QFile** file(fileName);
  - if (file.**open**(QIODevice::ReadOnly | QIODevice::Text)) ...;
  - if (file.**open**(QIODevice::WriteOnly)) ...;

QTextStream

QTextStream

- lecture ou écriture de **texte** depuis un **QFile :**
  - **QTextStream** stream(&file);
- Améliorent les **iostream** du C++
  - compatibles avec **QString** et **Unicode** (et d'autres codecs de caractères)

QTextStream

QTextStream

- lecture ou écriture de **texte** depuis un **QFile :**
  - **QTextStream** stream(&file);
- opérateurs **<<** et **>>** :
  - outStream **<<** string;
  - inStream **>>** string; // attention : s'arrête au **premier espace !**
- méthodes utiles :
  - QString **readLine**(taillemax = 0); // pas de limite de taille si = 0
  - QString **readAll**( ); // pratique mais à n'utiliser que pour des **petits fichiers**
- codecs :
  - **setCodec**(codec), **setAutoDetectUnicode**(bool);

Ressources

Fichier source

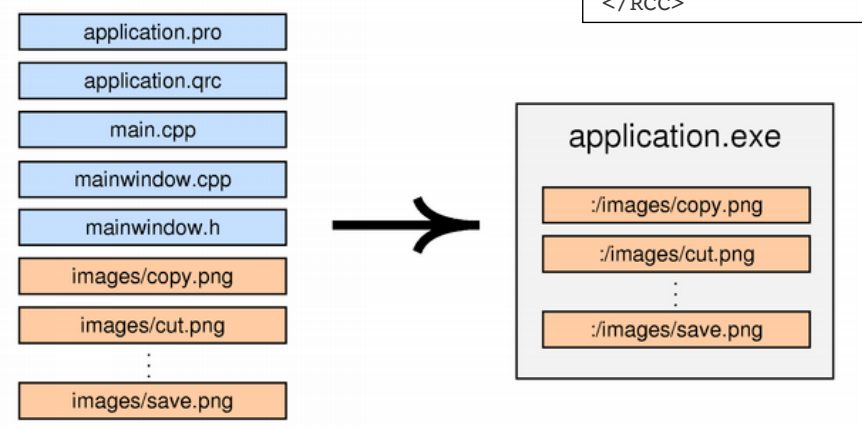
```
QAction * newAction =
    new QAction( QIcon(":new.png"),                    // : signifie: relatif au programme
                 tr("&New..."),                        // tr( ) pour éventuelle traduction
                 this );
newAction->setShortcut( tr("Ctrl+N") );                // l'accélérateur clavier peut être traduit
```


Ressources

Fichier .qrc

- créé à la main ou par **QtCreator**

```
<!DOCTYPE RCC><RCC version="1.0">
<qresource>
    <file>images/copy.png</file>
    <file>images/cut.png</file>
    <file>images/new.png</file>
    <file>images/open.png</file>
    <file>images/paste.png</file>
    <file>images/save.png</file>
</qresource>
</RCC>
```



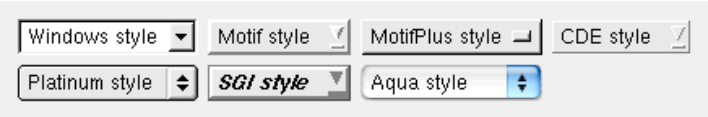
Styles

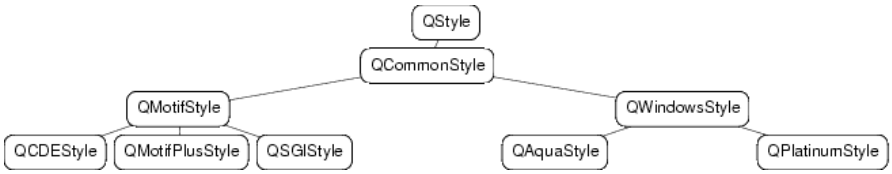
Emulation du "Look and Feel"

- Look and feel simulé et paramétrable (comme Swing)
- rapidité, flexibilité, extensibilité,
- pas restreint à un "dénominateur commun"

QStyle

- QApplication::**setStyle**(new MyCustomStyle);



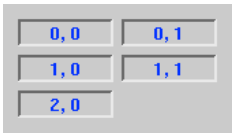


Layout

Buts

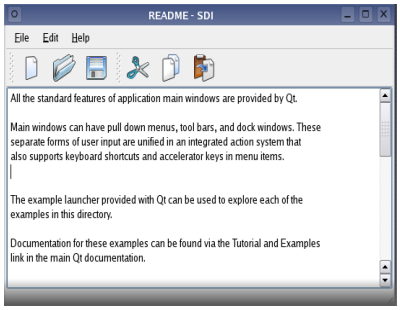
- internationalisation
- retaillage interactif
- éviter d'avoir à faire des calculs

Layout



QHBoxLayout, QVBoxLayout, QGridLayout

QFormLayout



(cf. aussi QMainWindow)

Layout : exemple

```
QVBoxLayout * v_layout = new QVBoxLayout( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "OK" ) );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Cancel" ) );
v_layout->addStretch( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Help" ) );
```

Les Layouts

- peuvent être emboîtés
- ne sont pas liés à une hiérarchie de conteneurs comme en Java
- cf. le « **stretch** »

Layout : exemple

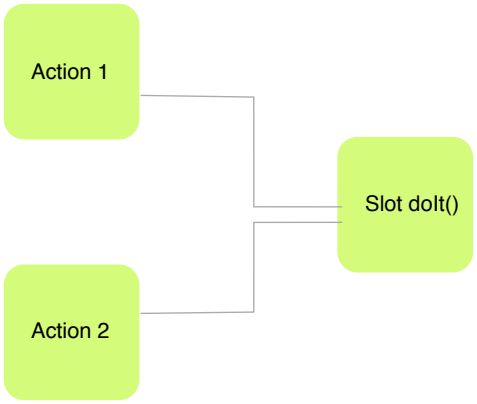
```
QVBoxLayout * v_layout = new QVBoxLayout( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "OK" ) );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Cancel" ) );
v_layout->addStretch( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Help" ) );

QListBox * country_list = new QListBox( this );
countryList->insertItem( "Canada" );
...etc...

QHBoxLayout * h_layout = new QHBoxLayout( );
h_layout->addWidget( country_list );
h_layout->addLayout( v_layout );
```

Layout : exemple

```
QVBoxLayout * v_layout = new QVBoxLayout( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "OK" ) );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Cancel" ) );
v_layout->addStretch( );
v_layout->addWidget( new QPushButton( "Help" ) );

QListBox * country_list = new QListBox( this );
countryList->insertItem( "Canada" );
...etc...

QHBoxLayout * h_layout = new QHBoxLayout( );
h_layout->addWidget( country_list );
h_layout->addLayout( v_layout );

QVBoxLayout * top_layout = new QVBoxLayout( );
top_layout->addWidget( new QLabel( "Select a country", this ) );
top_layout->addLayout( h_layout );

window->setLayout( top_layout );
window->show( );
```

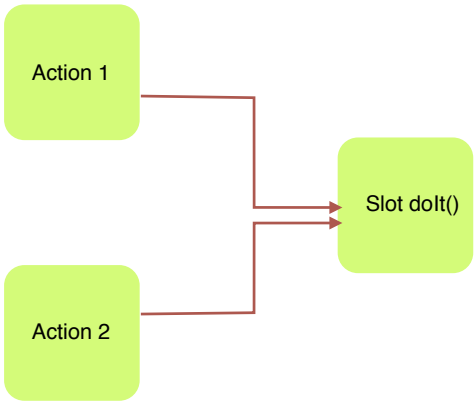
Retour sur les signaux et les slots

Comment différencier des actions dans un même slot ?



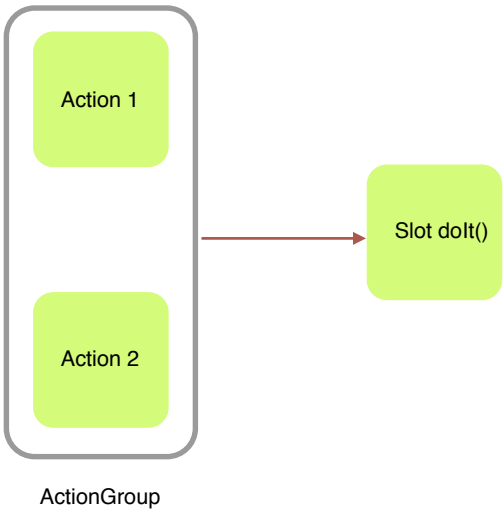
Solution 1: QObject::sender()

```
// Dans le .h en variables d'instance de MaClasse :
    QAction * action1, * action2, ...;

// Dans le .cpp:
void MaClasse::createGUI( ) {
      action1 = new QAction(tr("Action 1"), this);
      connect(action1, SIGNAL(triggered()), this, SLOT(doIt()));

      action2 = new QAction(tr("Action 2"), this);
      connect(action2, SIGNAL(triggered()), this, SLOT(doIt()));
       ...
}

void MaClasse::doIt( ) {
       QObject * sender = QObject::sender( );          // un peu comme getSource() de Java/Swing
       if (sender == action1) ....;
       else  if (sender == action2) .... ;
    ....
}
```



Solution 2: QActionGroup

```
// Dans le .h en variables d'instance de MaClasse :
    QAction * action1, * action2, …;

// Dans le .cpp:
void MaClasse::createGUI( ) {
      QActionGroup *group = new QActionGroup(this);
      // un seul connect !
      connect(group, SIGNAL(triggered(QAction *)),
                  this, SLOT(doIt(QAction *)));
      action1 = group->addAction(tr("Action 1"));
      action2 = group->addAction(tr("Action 2"));
      …
}

void MaClasse::doIt(QAction * sender ) {          // l'action est récupérée via le paramètre
      if (sender == action1) ....;
      else  if (sender == action2) .... ;
    ....
}
```



Solution 2: QActionGroup

Par défaut le groupe est exclusif, sinon faire :

```
group->setExclusive(false);
```

On peut faire de même pour les boutons (QPushButton, QRadioButton, QCheckBox …) :

```
QButtonGroup * group = new QButtonGroup(this);
```

En utilisant un des signaux suivants de QButtonGroup :

```
buttonClicked(QAbstractButton * button)
```

ou :

```
buttonClicked(int id)
```

Solution 3: QSignalMapper

```
void MaClasse::createGUI( ) {
    QSignalMapper* mapper = new QSignalMapper (this) ;
    connect(mapper, SIGNAL(mapped(int)), this, SLOT(doIt(int))) ;

    QPushButton * btn1 = new QPushButton("Action 1"), this);
    connect (btn1, SIGNAL(clicked( )), mapper, SLOT(map( ))) ;
    mapper->setMapping (btn1, 1) ;

    QPushButton * btn2 = new QPushButton("Action 1"), this);
    connect (btn2, SIGNAL(clicked( )), mapper, SLOT(map( ))) ;
    mapper->setMapping (btn2, 2) ;
     …
}

void MaClasse::doIt(int value) {          // l'action est récupérée via le paramètre
    ....
}
```

Possible pour les types : int, QString&, QWidget* et QObject*

Graphique 2D illustré en Qt

Dessiner dans un widget

Un widget n'est repeint que lorsque c'est nécessaire

- l'application est **lancée** ou **déiconifiée**
- l'application est **déplacée** (selon l'OS)
- une fenêtre qui **cachait** une partie du widget est **déplacée**
- on le **demande explicitement** via la fonction **update**( )

Dessiner dans un widget

Un widget n'est repeint que lorsque c'est nécessaire

- l'application est **lancée** ou **déiconifiée**
- l'application est **déplacée** (selon l'OS)
- une fenêtre qui **cachait** une partie du widget est **déplacée**
- on le **demande explicitement** via la fonction **update**( )

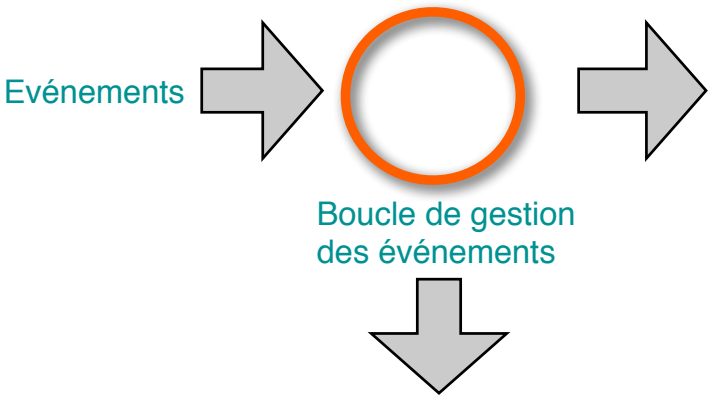
Modèle « damaged / repaint »

- contrairement aux applications 3D où, généralement, on réaffiche tout le temps

Dans tous les cas

- la méthode **void paintEvent (**QPaintEvent ***)** de **QWidget** est appelée

Modèle "damaged / repaint"



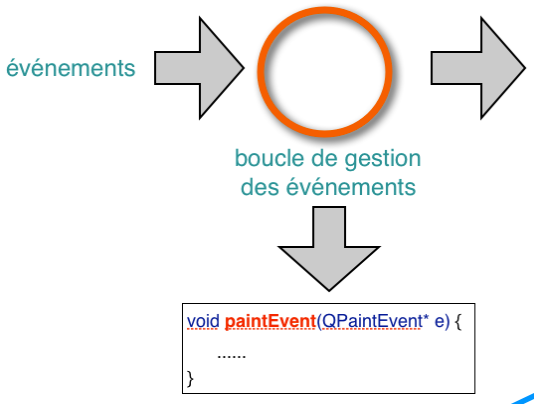

```
void myCallback(...)
    ......
    update();
    ......
    update(x, y, w, h);
    ......
    update(region1);
    update(region2);
    ......
}
```

```
void paintEvent(QPaintEvent* e)
{
    ......
}
```

update() indique qu'une zone est endommagée

paintEvent() est **automatiquement** appelée quand il faut réafficher

Modèle "damaged / repaint"




```
void myCallback(...)
    ......
    update();
    ......
    update(x, y, w, h);
    ......
    update(region1);
    update(region2);
    ......
}
```

```
void paintEvent(QPaintEvent* e) {
    ......
}
```

met les demandes dans une **file d'attente**
zone = tout le widget sauf si on précise

update() indique qu'une zone est endommagée

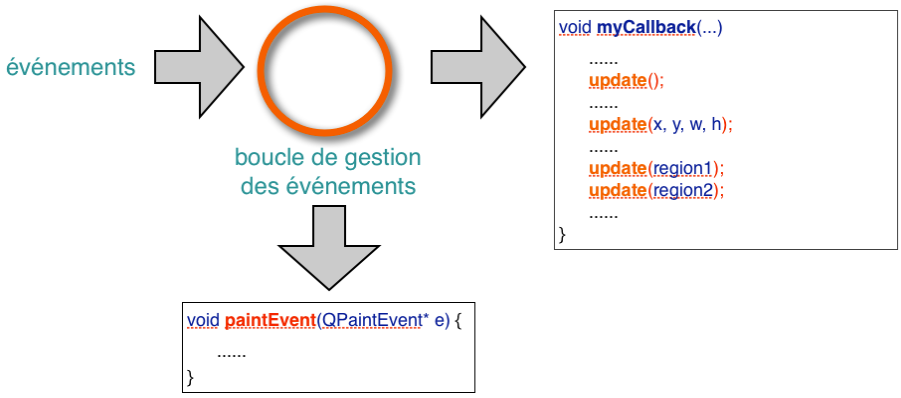
paintEvent() effectue le réaffichage

n'est appelée qu'**une seule fois,**
au retour dans la boucle

Attention

- afficher le dessin **dans paintEvent**()
- ne pas appeler **paintEvent**() directement

Modèle "damaged / repaint"



Compléments

repaint() entraîne un **réaffichage immédiat** (contrairement à **update**())

- ne pas l'utiliser sauf cas particuliers (animation)

Java fonctionne de manière similaire mais les noms sont **différents** !

- **update**() Qt == **repaint**() Java
- **paintEvent**() Qt == **paint**() Java

Redessiner

Créer une sous-classe de QWidget qui redéfinit paintEvent()

Header Canvas.h

```
#include <QWidget>

class Canvas : public QWidget {
public:
    Canvas(QWidget* parent) : QWidget(parent) {}
protected:
    virtual void paintEvent(QPaintEvent*);
};
```

Implémentation Canvas.cpp

```
#include <QPainter>
#include "Canvas.h"

void Canvas::paintEvent(QPaintEvent* e) {
    QWidget::paintEvent(e);          // comportement standard (afficher le fond, etc.)
    QPainter  painter(this);         // crée un Painter pour ce Canvas
    painter.drawLine(50, 10, 100, 20);
}
```

N'utiliser QPainter que dans paintEvent() (à cause du double buffering)

Détecter les événements

Méthodes de QWidget appelées quand :

- on relâche un bouton
- on double-clique
- on déplace la souris
  - en **appuyant (ou pas)** sur bouton souris selon **mouseTracking()**

Remarque

- pas de signals / slots !

- **void mousePressEvent(QMouseEvent*);**
- **void mouseReleaseEvent(QMouseEvent*);**
- **void mouseDoubleClickEvent(QMouseEvent*);**
- **void mouseMoveEvent(QMouseEvent*);**
- **void setMouseTracking(bool)**
- **bool hasMouseTracking()**

Détecter les événements

Canvas.h

```
#include <QWidget>
#include <QMouseEvent>

class Canvas : public QWidget {
public:
    Canvas(QWidget* p) : QWidget(p) {}

protected:
   void mousePressEvent(QMouseEvent*);
};
```

Canvas.cpp

```
#include "Canvas.h"

void Canvas:: mousePressEvent(QMouseEvent* e) {
     if (e->button() == Qt::LeftButton) {
            .....
            ......
       update();              // demande de réaffichage
    }
}
```

QMouseEvent permet de récupérer :

- **button( ) :** **bouton** souris qui a déclenché l'événement. ex: Qt::LeftButton
- **buttons( ) :** **état** des autres boutons. ex: Qt::LeftButton | Qt::MidButton
- **modifiers( ) :** **modificateurs** clavier. ex: Qt::ControlModifier | Qt:: ShiftModifier
- …

Récupérer la position du curseur

Canvas.h

```
#include <QWidget>
#include <QMouseEvent>

class Canvas : public QWidget {
public:
    Canvas(QWidget* p) : QWidget(p) {}

protected:
   void mousePressEvent(QMouseEvent*);
};
```

Canvas.cpp

```
#include "Canvas.h"

void Canvas:: mousePressEvent(QMouseEvent* e) {
     if (e->button() == Qt::LeftButton) {
              ......
              ......
       update();              // demande de réaffichage
     }
}
```

QMouseEvent permet de récupérer :

- la **position locale** (relative au widget) : **pos**( ) ou **localPos**( )
- la **position** relative à un référentiel : **globalPos**( ), **screenPos**( ), **windowPos**( )

  => utile si on déplace le widget interactivement !

Récupérer la position du curseur

Canvas.h

```
#include <QWidget>
#include <QMouseEvent>

class Canvas : public QWidget {
public:
    Canvas(QWidget* p) : QWidget(p) {}

protected:
   void mousePressEvent(QMouseEvent*);
};
```

Canvas.cpp

```
#include "Canvas.h"

void Canvas:: mousePressEvent(QMouseEvent* e) {
     if (e->button() == Qt::LeftButton) {
              ......
              ......
       update();              // demande de réaffichage
     }
}
```

QMouseEvent permet de récupérer :

- la **position locale** (relative au widget) : **pos**( ) ou **localPos**( )
- la **position** relative à un référentiel : **globalPos**( ), **screenPos**( ), **windowPos**( )

Alternative

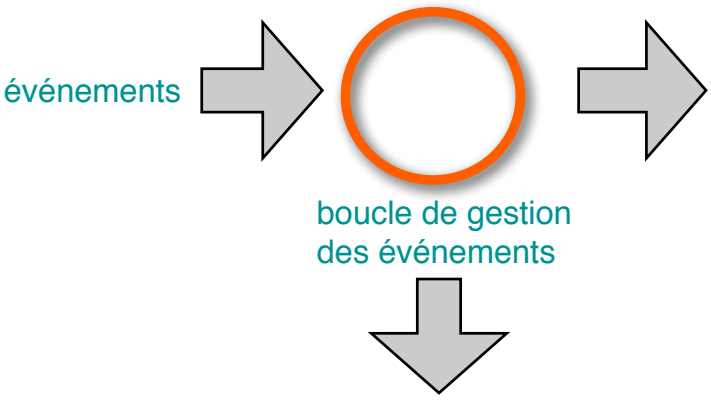
- **QCursor::pos**( ) : position du curseur sur l'écran
- **QWidget::mapToGlobal**( ), **mapFromGlobal**( ), etc. : conversion de coordonnées

Ignorer les événements

Ignorer les événements

- **QEvent::ignore**( ) : signifie que le receveur ne veut pas l'événement
  - ex : dans méthode **closeEvent**() de la MainWindow pour ne pas quitter l'appli

Synthèse




```
paintEvent(QPaintEvent* e) {
    QWidget::paintEvent(e);
    QPainter.painter(this);
     ......
}
```

```
mousePressEvent(QMouseEvent* e)
    ......
    ......
    update();
}
```

```
mouseMoveEvent(QMouseEvent* e)
    ......
    ......
    update();
}
```

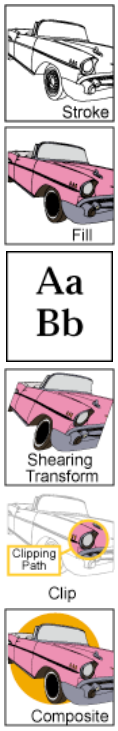
```
mouseMoveEvent(QMouseEvent* e)
    ......
    ......
    update();
}
```

```
mouseReleaseEvent(QMouseEvent* e)
    ......
    ......
    update();
}
```

QPainter

Attributs

- **setPen**( ) : lignes et contours
- **setBrush**( ) : remplissage
- **setFont**( ) : texte
- **setTransform**( ), etc. : transformations affines
- **setClipRect/Path/Region**( ) : clipping (découpage)
- **setCompositionMode**( ) : composition



QPainter

Lignes et contours

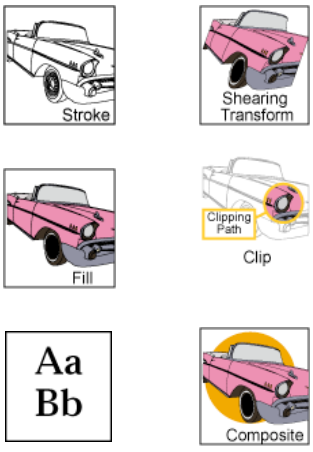
- drawPoint(), drawPoints()
- drawLine(), drawLines()
- drawRect(), drawRects()
- drawArc(), drawEllipse()
- drawPolygon(), drawPolyline(), etc...
- **drawPath**() : chemin complexe

Remplissage

- fillRect(), **fillPath**()

Divers

- drawText()
- drawPixmap(), drawImage(), drawPicture()
- etc.



QPainter

Classes utiles

- entiers: **QPoint, QLine, QRect, QPolygon**
- flottants: **QPointF, QLineF**, ...
- chemin complexe: **QPainterPath**
- zone d'affichage: **QRegion**

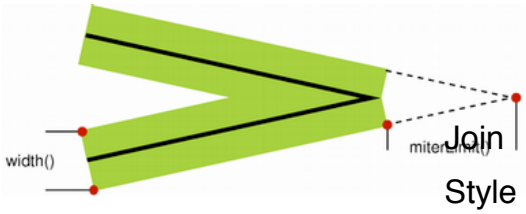
Pinceau: QPen

Attributs

- **style** : type de ligne
- **width** : épaisseur **(0 = «cosmetique»)**
- **brush** : attributs du pinceau (couleur...)
- **capStyle** : terminaisons
- **joinStyle** : jointures

Qt::PenStyle

Cap Style



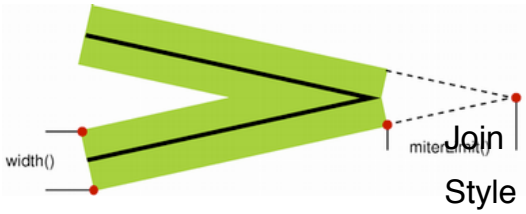
Pinceau: QPen

Exemple

```
// dans méthode PaintEvent()

QPen pen;        // default pen
pen.setStyle(Qt::DashDotLine);
pen.setWidth(3);
pen.setBrush(Qt::green);
pen.setCapStyle(Qt::RoundCap);
pen.setJoinStyle(Qt::RoundJoin);

QPainter painter(this);
painter.setPen(pen);
```

Qt::PenStyle

Cap Style



Join Style

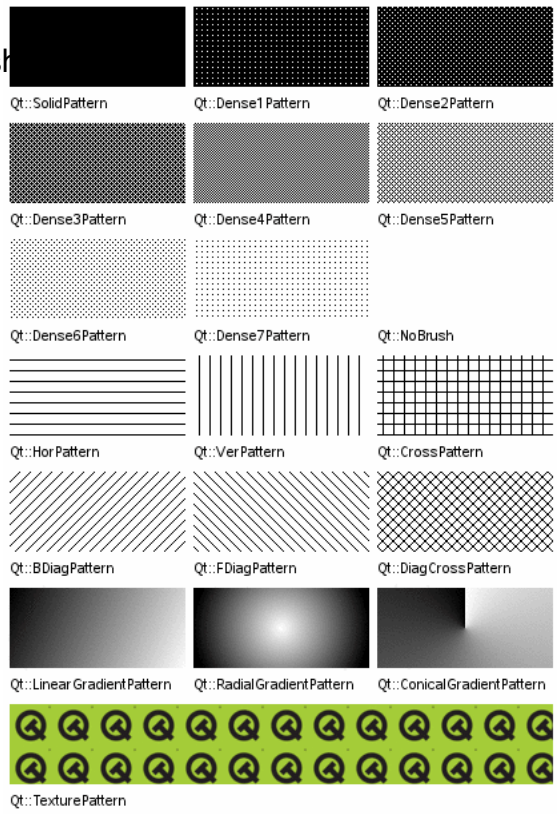
Remplissage: QBrush

Attributs

- **style**
- color
- gradient
- texture

```
QBrush brush( ... );
.....
QPainter painter(this);
painter.setBrush(brush);
```

Qt::Brush



Remplissage: QBrush

Attributs

- style
- **color**
- gradient
- texture

Qt::GlobalC

QColor

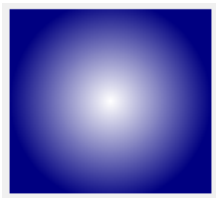
- **modèles** RGB, HSV or CMYK
- **composante alpha** (transparence) :
  - alpha blending
- **couleurs prédéfinies**:
  - Qt::GlobalColor

Remplissage: gradients

Type de gradients

- lineaire,
- radial
- conique

QLinearGradient

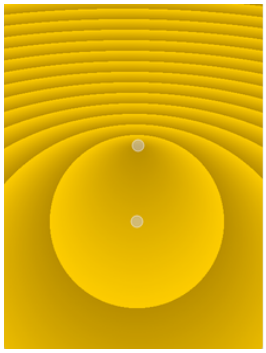


QRadialGradient

QLinearGradient
gradient(QPointF(0, 0), QPointF(100, 100));

```
gradient.setColorAt(0, Qt::white);
gradient.setColorAt(1, Qt::blue);

QBrush brush(gradient);
```

QConicalGradient



répétition: setSpread()

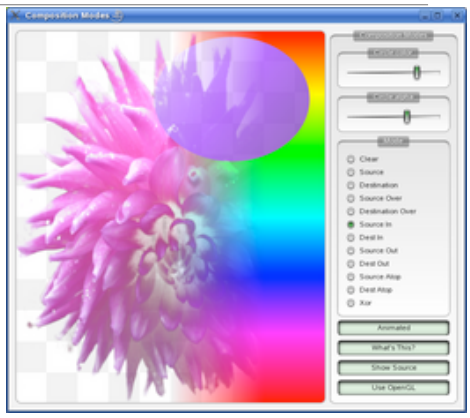
Type de coordonnées

- défini par **QGradient::CoordinateMode**

Composition

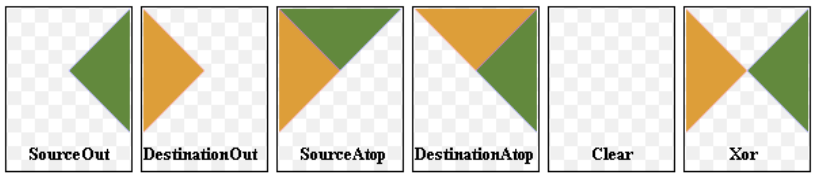
Modes de composition

- opérateurs de **Porter Duff**:
- définissent : *F(source, destination)*
- défaut : **SourceOver**
  - avec alpha blending
  - dst <= a_{src} * src + (1-a_{src}) * a_{dst} * dst
- limitations
  - selon implémentation et Paint Device



Méthode:

QPainter::setCompositionMode( )



Découpage (clipping)

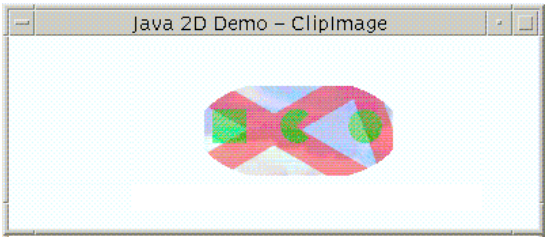
Découpage

- selon un rectangle, une région ou un path
- QPainter::setClipping(), setClipRect(), setClipRegion(), setClipPath()

QRegion

- united(), intersected(), subtracted(), xored()

```
QRegion r1(QRect(100, 100, 200, 80), QRegion::Ellipse);     // r1: elliptic region
QRegion r2(QRect(100, 120, 90, 30));                        // r2: rectangular region
QRegion r3 = r1.intersected(r2);                            // r3: intersection

QPainter painter(this);
painter.setClipRegion(r3);

...etc...      // paint clipped graphics
```

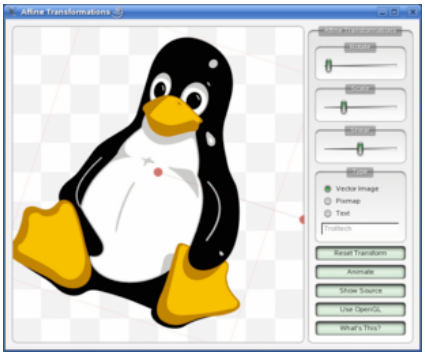


Transformations affines

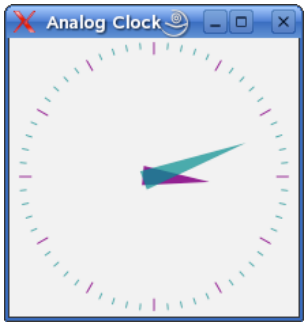
Transformations

- translate()
- rotate()
- scale()
- shear()
- setTransform()

Démo !



```
QPainter painter( this );
painter.setRenderHint( QPainter::Antialiasing );
painter.translate( width( )/2, height( )/2 );
painter.scale( side/200.0, side/200.0 );

painter.save( );                    // empile l'état courant
painter.rotate( 30.0 * ((time.hour() + time.minute() / 60.0)) );
painter.drawConvexPolygon( hourHand, 3 );
painter.restore( );                 // dépile
```



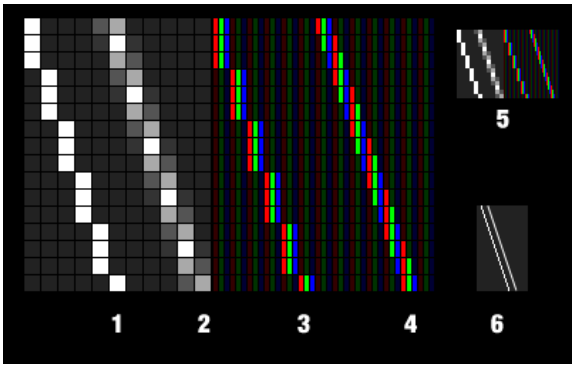
Antialiasing

Anti-aliasing

- éviter l'effet d'escalier
- particulièrement utile pour les polices de caractères

Subpixel rendering

- exemples : ClearType, texte sous MacOSX



MacOSX

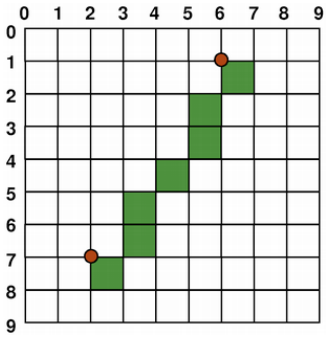
ClearType

(Wikipedia)

Antialiasing

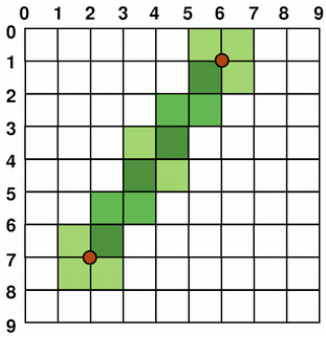
Anti-aliasing sous Qt

```
QPainter painter(this);
painter.setRenderHint(QPainter::Antialiasing);
painter.setPen(Qt::darkGreen);
painter.drawLine(2, 7, 6, 1);
```



Rendering hints

- “hint” = option de rendu
  - effet non garanti
  - dépend de l’implémentation et du matériel
- **QPainter::setRenderingHints( )**



Antialiasing et cordonnées

Epaisseurs impaire

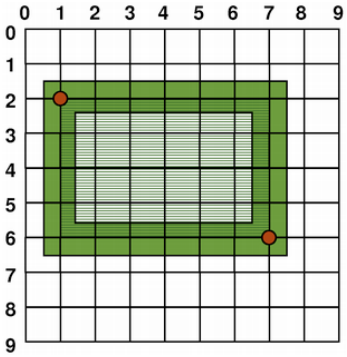
- pixels dessinés à droite et en dessous

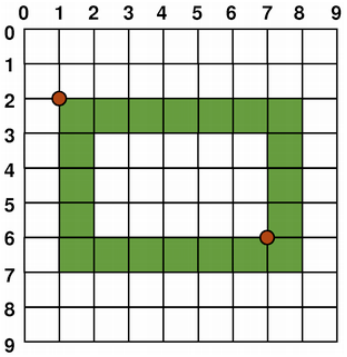
Note

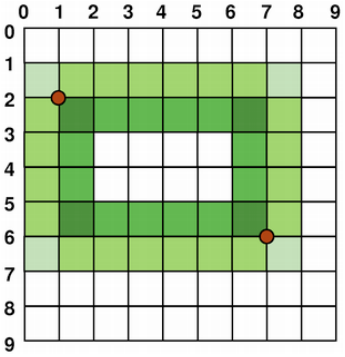
QRect::right() = left() + width() **-1**

Dessin anti-aliasé

- pixels répartis autour de la ligne idéale







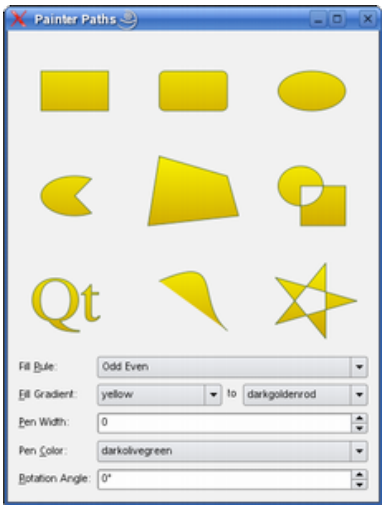
Paths

QPainterPath

- figure composée d'une suite arbitraire de lignes et courbes
  - affichée par: **QPainter::drawPath**()
  - peut aussi servir pour remplissage, profilage, découpage

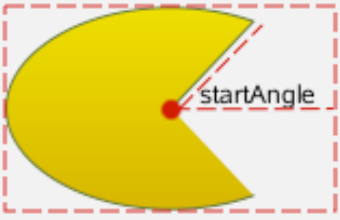
Méthodes

- **déplacements**: moveTo(), arcMoveTo()
- **dessin**: lineTo(), arcTo()
- **courbes** de Bezier: quadTo(), cubicTo()
- addRect(), addEllipse(), addPolygon(), addPath() ...
- addText()
- translate(), union, addition, soustraction...
- et d'autres encore ...



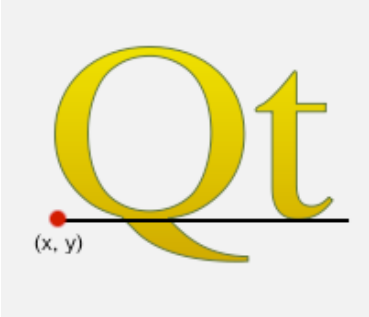
Paths

```
QPointF center, startPoint;
QPainterPath myPath;

myPath.moveTo( center );
myPath.arcTo( boundingRect, startAngle, sweepAngle );

QPainter painter( this );
painter.setBrush( myGradient );
painter.setPen( myPen );
painter.drawPath( myPath );
```



Paths

```
QPointF baseline(x, y);
QPainterPath myPath;

myPath.addText( baseline, myFont, "Qt" );

QPainter painter( this );
 ... etc....
painter.drawPath( myPath );
```

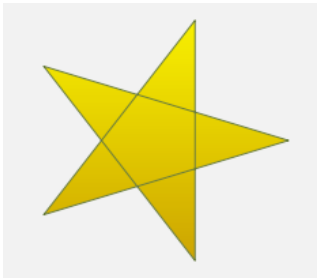


Paths

```
QPainterPath path;
path.addRect(20, 20, 60, 60);
path.moveTo(0, 0);
path.cubicTo(99, 0,  50, 50,  99, 99);
path.cubicTo(0, 99,  50, 50,  0, 0);

QPainter painter(this);
painter.fillRect(0, 0, 100, 100, Qt::white);
painter.setPen(QPen(QColor(79, 106, 25), 1, Qt::SolidLine, Qt::FlatCap, Qt::MiterJoin));
painter.setBrush(QColor(122, 163, 39));
painter.drawPath(path);
```

Qt::OddEvenFill

(défaut)



Qt::WindingFill

Images

Types d'images

- **QImage**: optimisé pour E/S et accès/manipulation des pixels
  - **QPixmap**, **QBitmap** : optimisés pour affichage l'écran
- **QPicture**: pour enregistrer et rejouer les commandes d'un **QPainter**
- dans tous les cas : on peut dessiner dedans avec un **QPainter**

Entrées/sorties

- **load**() / **save**() : depuis/vers un fichier, principaux formats supportés
- **loadFromData**() : depuis la mémoire

Images

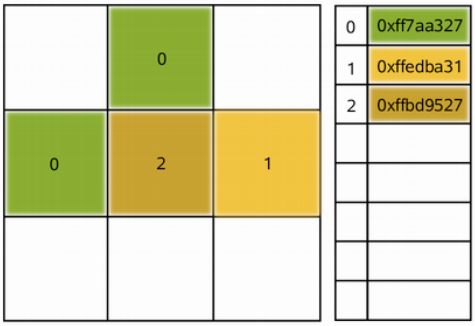
Format RGB

```
QImage image(3, 3,
QImage::Format_RGB32);
QRgb value;

value = qRgb(122, 163, 39); // 0xff7aa327
image.setPixel(0, 1, value);
image.setPixel(1, 0, value)
```

Images

Format indexé

```
QImage image(3, 3, QImage::Format_Indexed8);
QRgb value;

value = qRgb(122, 163, 39); // 0xff7aa327
image.setColor(0, value);

value = qRgb(237, 187, 51); // 0xffedba31
image.setColor(1, value);

image.setPixel(0, 1, 0);
image.setPixel(1, 0, 1);
```



QPicture

Enregistrer et rejouer les commandes d'un QPainter

- **Enregistrer :**

```
QPicture picture;
QPainter painter;
painter.begin( &picture );              // paint in picture
painter.drawEllipse( 10,20, 80,70 );    // draw an ellipse
painter.end( );                         // painting done
picture.save( "drawing.pic" );          // save picture
```

- **Rejouer :**

```
QPicture picture;
picture.load( "drawing.pic" );          // load picture
QPainter painter;
painter.begin( &myImage );              // paint in myImage
painter.drawPicture( 0, 0, picture );   // draw the picture at (0,0)
painter.end( );                         // painting done
```

Picking

Picking avec QRect, QRectF

- intersects()
- contains()

Picking avec QPainterPath

- intersects(const QRectF & rectangle)
- intersects(const QPainterPath & path)
- contains(const QPointF & point)
- contains(const QRectF & rectangle)
- contains(const QPainterPath & path)

Retourne l'intersection

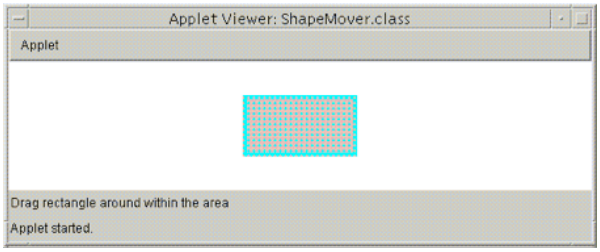
- QPainterPath intersected(const QPainterPath & path)

Picking / Interaction

Exemple

- teste si la souris est dans le rectangle quand on appuie sur le bouton de la souris
- met à jour la position du rectangle pour qu'il soit centré

```
QRect rect;      // variable d'instance de mon Widget de dessin

void mousePressEvent(QMouseEvent* e) {
   if (rect.contains( e->pos() )) {
      rect.moveCenter( e->pos() );
      update( );
}
...
void paintEvent(QPaintEvent* e ) {
    QPainter painter( this );
    .....          // specifier attributs graphiques
    painter.drawRect( rect );
}
```

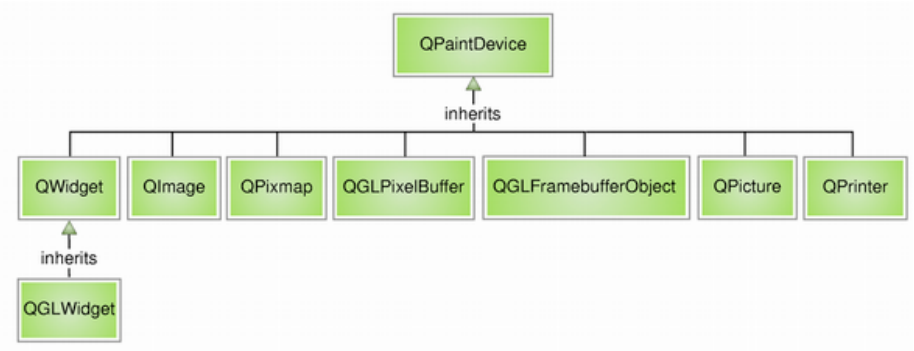


Surfaces d'affichage

- **QPainter** : outil de dessin
- **QPaintDevice** : objet sur lequel on peut dessiner
- **QPaintEngine** : moteur de rendu

On peut dessiner dans tout ce qui hérite de **QPaintDevice**, en particulier **QWidget**

- mais aussi: QPrinter, QPixmap, QImage, QPicture, QGLPixelBuffer, etc.



Surfaces d'affichage

SVG

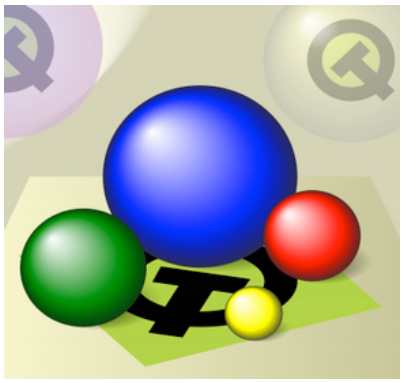
- QSvgWidget
  - QSvgRenderer

OpenGL

- QGLWidget
  - QGLPixelBuffer
  - QGLFramebufferObject

Impression

- QPrinter



QSvgWidget

Graphique structuré 2D

Graphics View

- graphique structuré
  - représentation objet du dessin
  - réaffichage, picking automatiques
- vues d'un **graphe de scène** :
  - QGraphicsScene
  - QGraphicsView
  - QGraphicsItem, etc.

```
QGraphicsScene scene;
QGraphicsRectItem * rect =
    scene.addRect( QRectF(0,0,100,100) );
QGraphicsItem *item = scene.itemAt(50, 50);
    .....
QGraphicsView view( &scene );
view.show( );
```


Performance de l'affichage

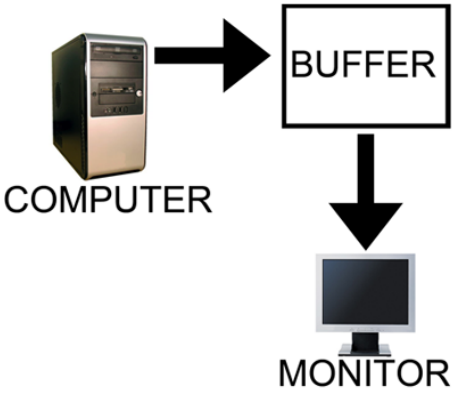
Problèmes classiques :

- **Flickering** et **Tearing** (scintillement et déchirement)
- **Lag** (latence)

Flicker

Diagnostic

- scintillement de l'affichage
- exemple (extrême) :
  https://www.youtube.com/watch?v=QoZ8L1quWnc



Problème

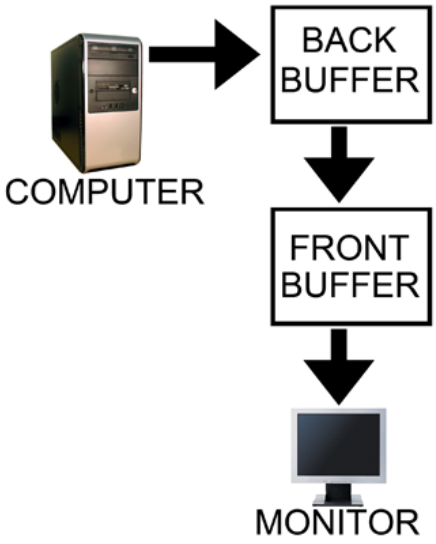
- l'oeil perçoit les étapes intermédiaires
- se produit (normalement) en « simple buffering »
  - dessin directement sur le **buffer** de l'écran

source: AnandTech

Double buffering

Solution

- solution au flickering :
  - dessin dans le **back buffer** (caché)
  - recopie dans le **front buffer** (écran)
- par défaut avec Qt4 ou Java Swing



source: AnandTech

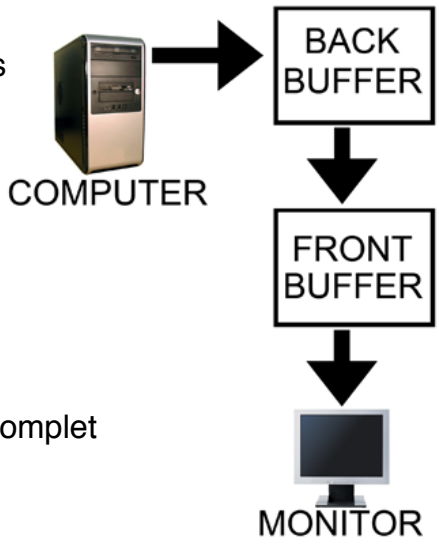
Tearing

Diagnostic

– l'image apparait en 2 (ou 3...) parties horizontales

– exemples :

- https://www.youtube.com/watch?v=-55y5sgHcbo
- https://www.youtube.com/watch?v=1nFBtTq0DHo



Problème

– recopie du **back buffer** avant que le dessin soit complet

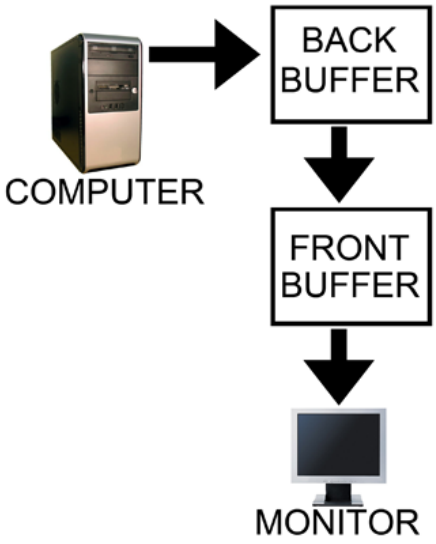
- mélange de plusieurs "frames" vidéo
- en particulier avec jeux vidéo

source: AnandTech

Tearing

Solution

- **VSync** (Vertical synchronization)
- rendu synchronisé avec l'affichage
- inconvénient : ralentit l'affichage

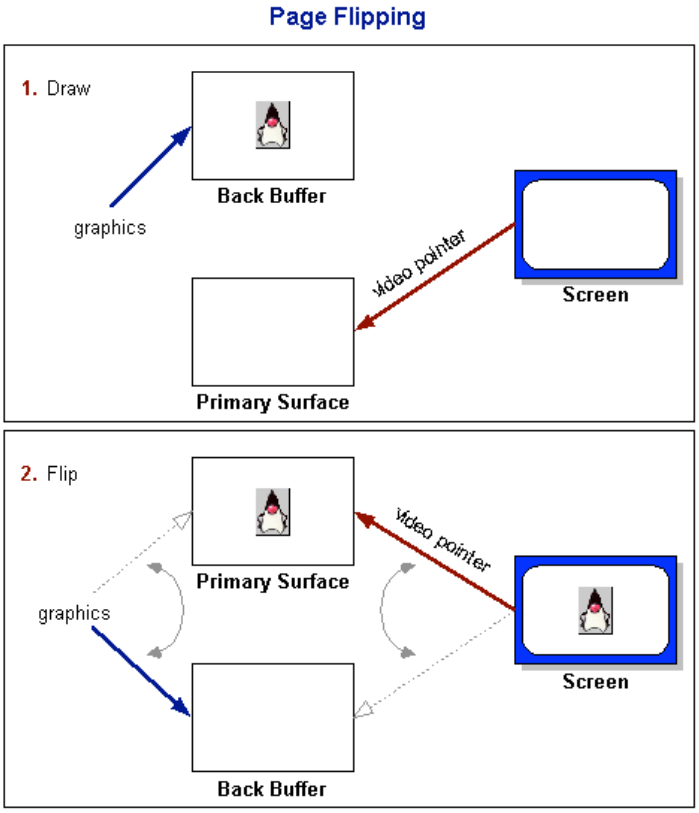


source: AnandTech

Page flipping

Page flipping

- alternative au double buffering
- pas de recopie des pixels, on change juste de buffer
- plus rapide (mais tout de même contraint par VSync)

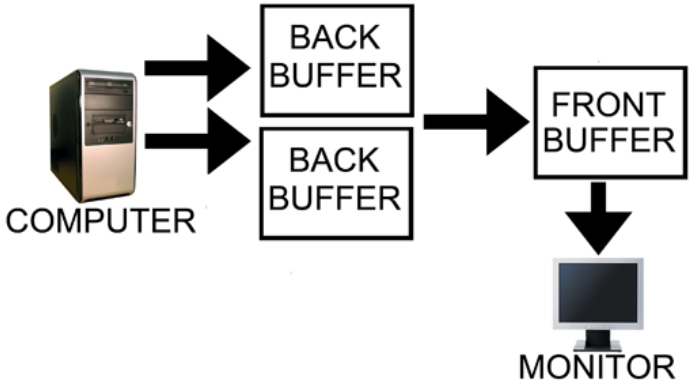


src: Oracle/JavaSE

Triple buffering

Triple buffering

- évite le ralentissement dû à la **VSync**
  - un des **deux back buffers** est toujours complet
  - le **front buffer** (écran) peut être mis à jour sans attendre

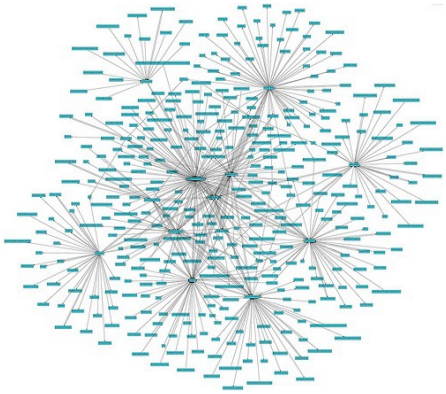


source: AnandTech

Latence (dessin interactif)

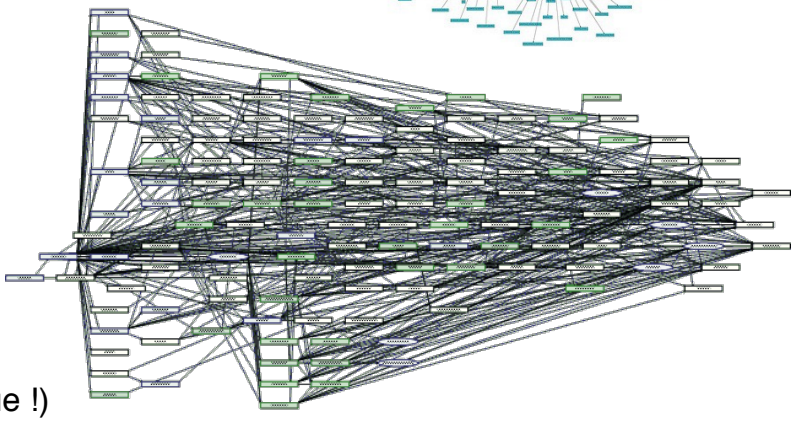
Diagnostic

- l'affichage «**ne suit pas** » l'interaction
  - ex : gros graphe dont on veut déplacer un noeud



Problème

- trop d'éléments à réafficher à chaque interaction



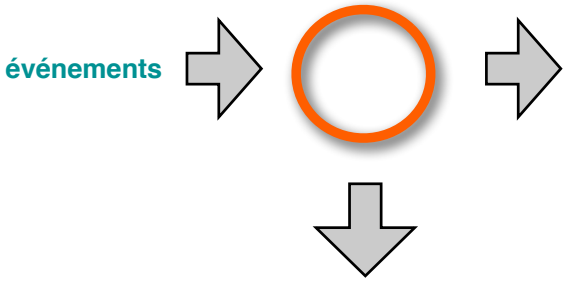
Solution

- réafficher moins d'éléments
- (ou changer de carte graphique !)

Performance du dessin interactif

1) Afficher moins de choses dans le temps

- **sauter les images intermédiaires** : réafficher une fois sur N ou selon un délai
- inconvénient : affichage moins fluide, plus saccadé




```
void mouseMoveEvent(QMouseEvent* e)
    .....
    if (delay < MAX_DELAY) update();
}
```

Ne pas réafficher si le délai est trop long

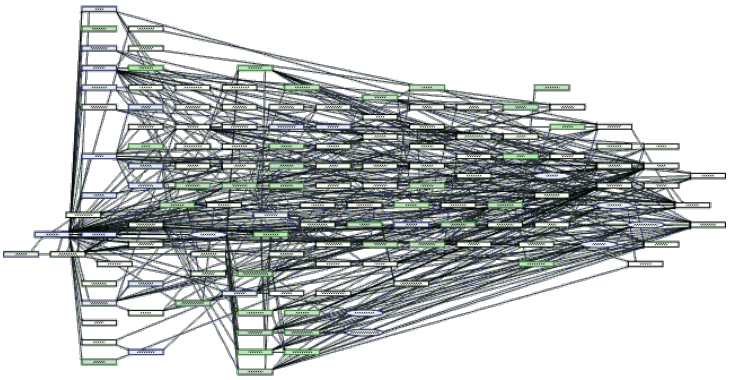
mieux : utiliser des **QTimer** pour demander de réafficher

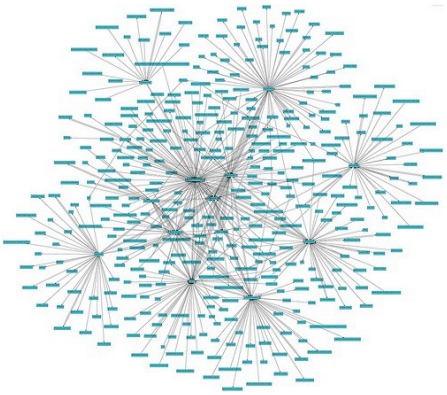
```
void paintEvent(QPaintEvent* e) {
    .....
}
```

Performance du dessin interactif

2) Afficher moins de choses dans l'espace

- **Ne réafficher que la partie qui change**
  - sauver ce qui ne change pas dans une image avant l'interaction
  - à chaque interaction réafficher l'image puis ce qui change par dessus





XOR

Principe

- affichage en mode XOR
  - très efficace pour déplacements interactifs

Afficher 2 fois pour effacer

- 1er affichage: pixel = bg ^ fg
- 2eme affichage: pixel = (bg ^ fg) ^ fg = bg

Problèmes

- couleurs aléatoires

Exemple Java Graphics :

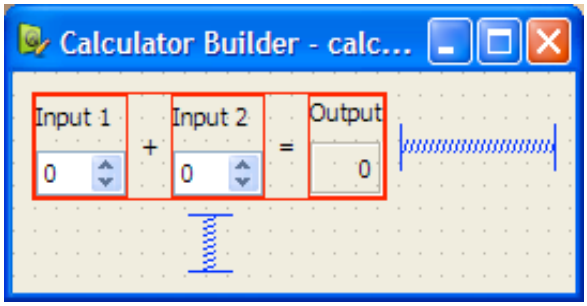
- setColor(Color c1)

- setPaintMode() : dessine avec c1

- setXORMode(Color c2) : échange c1 et c2

Qt Designer

- **Fichiers**
  - calculator.pro
  - calculator.ui
  - calculator.h
  - calculator.cpp
  - main.cpp



- **calculator.ui**
  - fichier XML

- **Exemple**
  - vidéo et code .ui

calculator.pro

```
TEMPLATE = app
FORMS = calculator.ui
SOURCES = main.cpp
HEADERS = calculator.h
```


Qt Designer

main.cpp

```
#include "calculator.h"

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication app(argc, argv);
    Calculator widget;
    widget.show();
    return app.exec();
}
```

Qt Designer

```
#include "ui_calculator.h"

class Calculator : public QWidget {
    Q_OBJECT
public:
    Calculator(QWidget * parent = 0);
private :
    Ui::Calculator * ui;
};
```

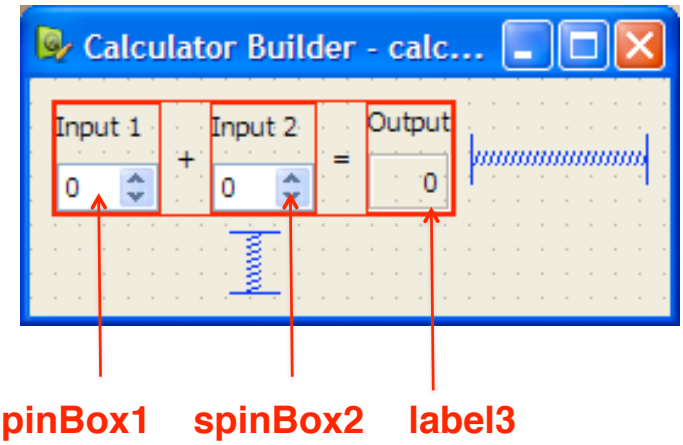
calculator.h

```
#include "calculator.h"

Calculator::Calculator(QWidget * parent) :
    QWidget(parent),
    ui(new Ui::Calculator)
{
    ui->setupUi(this);
    .......
}
```

calculator.cpp

Lien avec le code source

- Comment afficher le résultat du calcul dans le **Qlabel** ?



```
#include "ui_calculator.h"

class Calculator : public QWidget {
    Q_OBJECT
public:
    Calculator(QWidget *parent =0);
private :
    Ui::Calculator * ui;
private slots :
    void on_spinBox1_valueChanged(int value);
    void on_spinBox2_valueChanged(int value);
};
```

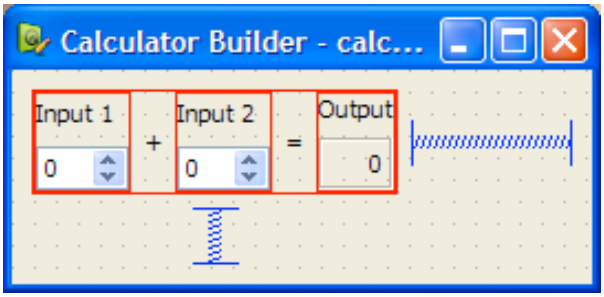
Auto-connect

```
#include "calculator.h

void Calculator::on_spinBox1_valueChanged(int val) {
    QString res = QString::number(val);
    // ou: QString res = QString::number(ui->spinBox1->value());
    ui->label3->setText(res);        // la variable label3 a le nom donné au widget dans Qt Designer
}
```


Lien avec le code source

On peut lier les signaux des objets créés interactivement avec n'importe quel **slot** :

- par **auto-connexion :**
  - void on_spinBox1_valueChanged(int)
- ou via le mode **Edition Signaux/Slots** de QtCreator



Variante

- Même principe mais en utilisant l'héritage multiple

```
#include "ui_calculatorform.h"

Class Calculator : public QWidget, public Ui::CalculatorForm {
    Q_OBJECT
public:
    Calculator(QWidget * parent = 0);
};
```

```
Calculator::Calculator(Qwidget *parent) : Qwidget(parent)  {
    setupUi(this);
}

void Calculator::on_spinBox1_valueChanged(int val) {
    QString res = QString::number(val);
    label3->setText(res);      // au lieu de : ui->label3->setText(res);
}
```


Chargement dynamique

```
#include <QtUiTools>

Calculator::Calculator(QWidget *parent) : QWidget(parent) {
    QUiLoader loader;
    QFile file(":/forms/calculator.ui");
    file.open(QFile::ReadOnly);
    QWidget * widget = loader.load(&file, this);
    file.close();
}
```

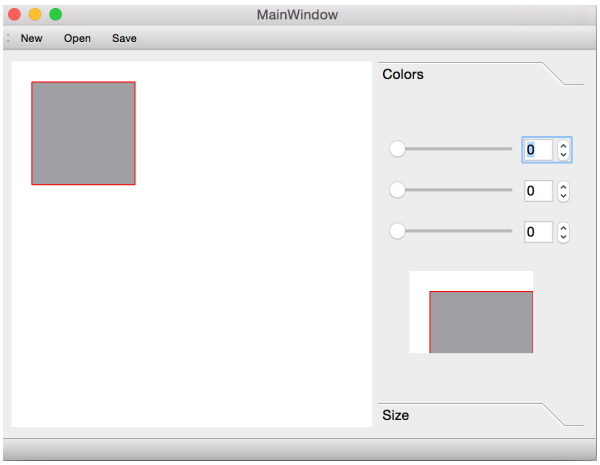
Chargement dynamique

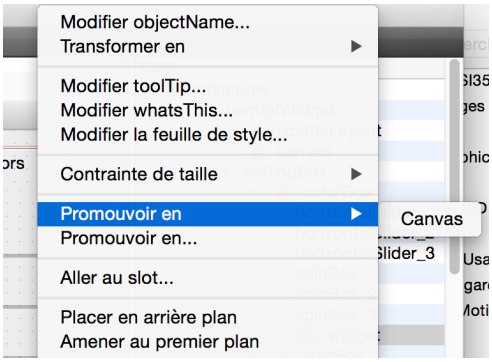
```
class Calculator : public QWidget {
    Q_OBJECT

public:
    Calculator(QWidget *parent = 0);

private:
    QSpinBox *ui_spinBox1;
    QSpinBox *ui_spinBox2;
    QLabel *ui_label1;
};

    .....
  ui_spinBox1 = qFindChild<QSpinBox*>(this,  "spinBox1");
  ui_spinBox2 = qFindChild<QSpinBox*>(this, "spinBox2");
  ui_label1 = qFindChild<QLabel*>(this, "label1");
```


« Promotion »

Promote

- permet d'inclure des instances de ses propres classes dans Designer





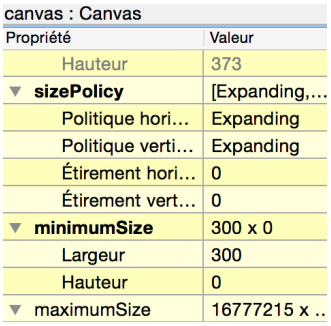
Retaillage interactif des widgets

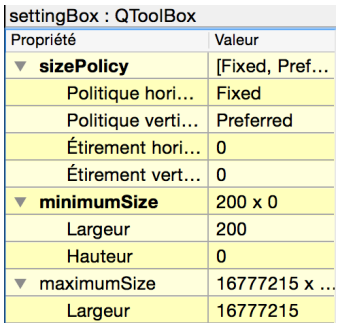
Pour chaque QWidget

- setMinimumSize(), setMaximumSize()
- setSizePolicy(QSizePolicy)
- setSizePolicy(QSizePolicy::Policy horizontal,
  QSizePolicy::Policy vertical)

QSizePolicy

- setHorizontalPolicy(),setVerticalPolicy(), etc.
- valeurs :
  - Fixed: = sizeHint() (taille recommandée)
  - Minimum: >= sizeHint()
  - Maximum: <= sizeHint()
  - Preferred: ~ sizeHint(), can be shrunk, can be expanded
  - Expanding: get as much space as possible, can be shrunk
  - MinimumExpanding: idem, can't be shrunk
  - Ignored: idem, ignoring sizeHint()





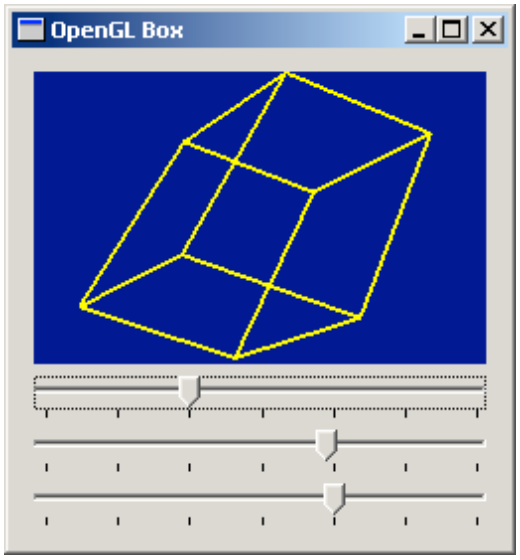
Graphique 3D

Dessin 3D

- grâce à **OpenGL**
- principe : créer une sous-classe de QOpenGLWidget et redéfinir :
  - virtual void initializeGL( )
  - virtual void resizeGL(int w, int h)
  - virtual void paintGL( )
- pour demander un réaffichage il faut appeler :
  - update( )
  - (effectué après terminaison d'une fonction de callback)
- Note: QtGraphicsView est également compatible avec **OpenGL**

OpenGL : Box3D.h

```
#include <QOpenGLWidget>
#include <QOpenFunctions>

class Box3D : public QOpenGLWidget,  protected QOpenGLFunctions {
   Q_OBJECT
   GLfloat rotX, rotY, rotZ;
   GLuint object;

public:
   Box3D( QWidget *parent);
   ~Box3D();

protected:
   void initializeGL( );
   void paintGL( );
   void resizeGL(int w, int h);
   GLuint makeObject();

public slots:
   void setRotationX(int deg) {rotX = deg; update( ); }
   void setRotationY(int deg) {rotY = deg; update( ); }
   void setRotationZ(int deg) {rotZ = deg; update( ); }
};
```



OpenGL : Box3D.cpp

```
#include "Box3D.h"

Box3D::Box3D(QWidget * parent) : QOpenGLWidget(parent) {
   object = 0;
   rotX = rotY = rotZ = 0.0;
}

Box3D::~Box3D() {
   makeCurrent();
   glDeleteLists(object, 1);
}

void Box3D::initializeGL( ) {
   initializeOpenGLFunctions();
   glClearColor(0, 0, 1, 0);
   object = makeObject();
   glShadeModel(GL_FLAT);
}
```

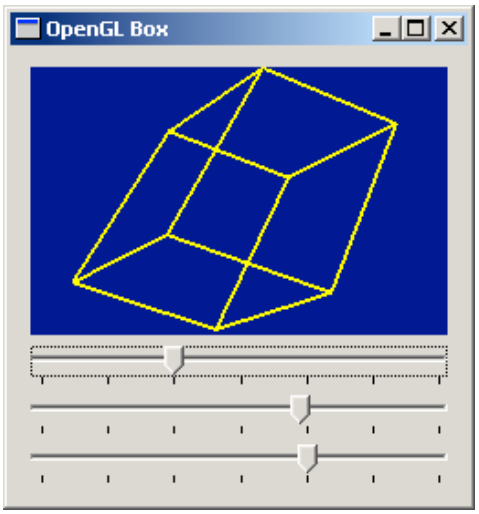
OpenGL : Box3D.cpp

```
void Box3D::paintGL( ) {
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glLoadIdentity();
    glTranslatef(0.0, 0.0, -10.0);
    glRotatef(rotX, 1.0, 0.0, 0.0);
    glRotatef(rotY, 0.0, 1.0, 0.0);
    glRotatef(rotZ, 0.0, 0.0, 1.0);
    glCallList(object);
}
void Box3D::resizeGL( int w, int h ) {
    glViewport(0, 0, w, h);
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();
    glFrustum(-1.0,1.0,-1.0,1.0,5.0,15.0);
    glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
}
```

```
GLuint Box3D::makeObject() {
    GLuint list = glGenLists( 1 );
    glNewList( list, GL_COMPILE );
    qglColor( yellow );
    glLineWidth( 2.0 );

    glBegin( GL_LINE_LOOP );
    glVertex3f( +1.5, +1.0, +0.8 );
    glVertex3f( +1.5, +1.0, -0.8 );
    /* ... */
    glEnd();

    glEndList();
    return list;
}
```

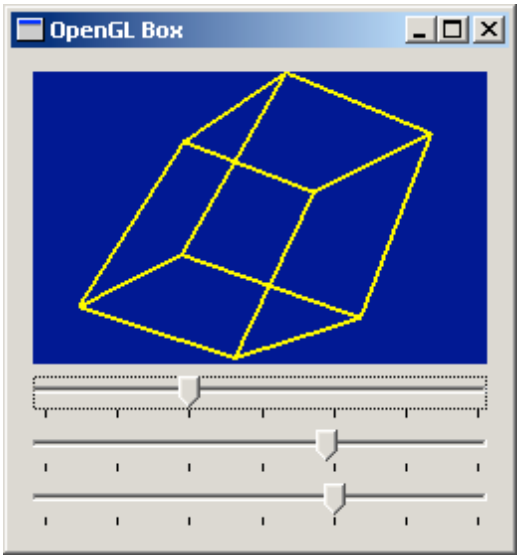

OpenGL : main

```
int main(int argc, char **argv)  {
    QApplication app(argc, argv);

    QSurfaceFormat format;
    format.setDepthBufferSize(24);
    format.setStencilBufferSize(8);
    format.setProfile(QSurfaceFormat::CoreProfile);
    QSurfaceFormat::setDefaultFormat(format);

    QWidget mainwin;
    mainwin.setWindowTitle(« OpenGL Box");
    mainwin.setMargin(11);
    mainwin.setSpacing(6);

    Box3D box3d);
    createSlider(&mainwin, &box3d, SLOT(setRotationX(int)));
    createSlider(&mainwin, &box3d, SLOT(setRotationY(int)));
    createSlider(&mainwin, &box3d, SLOT(setRotationZ(int)));

    mainwin.resize(250, 250);
    mainwin.show( );
    return app.exec( );
}
```



OpenGL : main

```
void createSlider(QWidget * parent,
                  Box3D * box3d,
                  const char * slot)     // cf. le type de slot !
{
   QSlider *slider = new QSlider(QSlider::Horizontal, parent);

   slider->setTickPosition(QSlider:: TicksBelow);

   QObject::connect( slider, SIGNAL(valueChanged(int)),
                     box3d, slot);
}
```



Machines à états et Statecharts

Machines à états finis

Example : rubber banding (repris de Scott Hudson - CMU)

```
Accept the press for endpoint p1;
P2 = P1;
Draw line P1-P2;
Repeat
      Erase line P1-P2;
      P2 = current_position();
      Draw line P1-P2;
Until release event;
Act on line input;
```

Quel est le problème ?

Machines à états finis

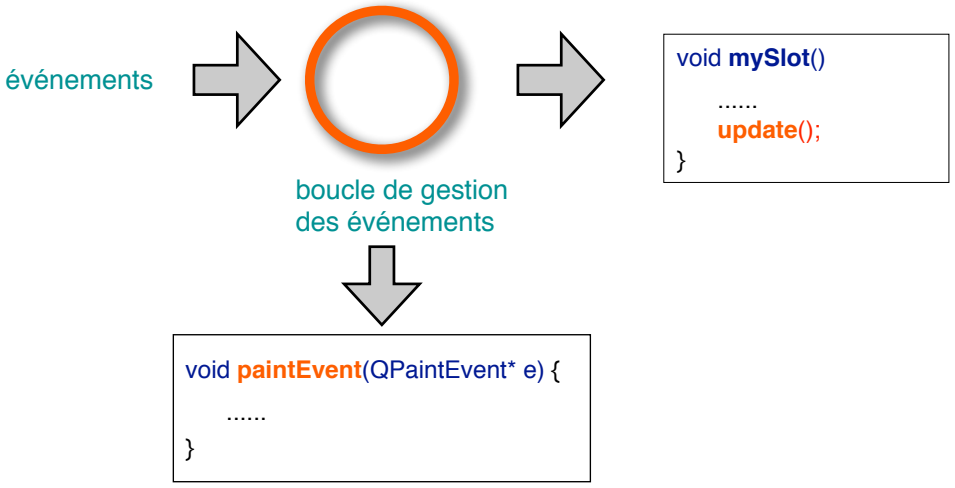
Rubber banding

```
Accept the press for endpoint p1;
P2 = P1;
Draw line P1-P2;
Repeat
      Erase line P1-P2;
      P2 = current_position();
      Draw line P1-P2;
Until release event;
Act on line input;
```

Problème

- pas compatible avec la **gestion événementielle !**

Rappel : gestion des événements



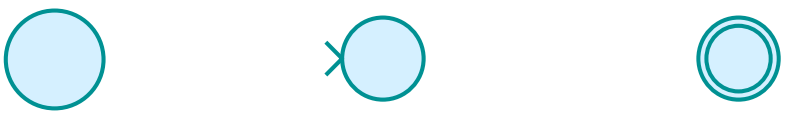
Cycle événement / réaffichage

- on ne doit pas bloquer ce cycle ni ignorer les (autres) événements

Machines à états

Une solution appropriée pour « maintenir l'état » !

- simple et efficace pour modéliser les comportements
- évite les «spaghettis de callbacks», la multiplication des variables d'état et les erreurs !
- passage facile d'une **représentation visuelle** au **code source**
- divers outils, UML, **QState**



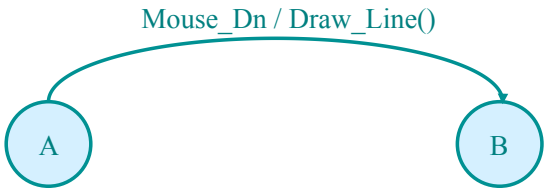
Etat | Etat de départ | Etat final

NB: en IHM généralement pas d'état final : on revient à l'état initial

Machines à états

Transitions

- Représentées par des **arcs** avec un label : **Evénement / Action**
- Si on est dans l'état A et cet événement se produit
  - cette action est effectuée
  - puis on passe dans l'état B



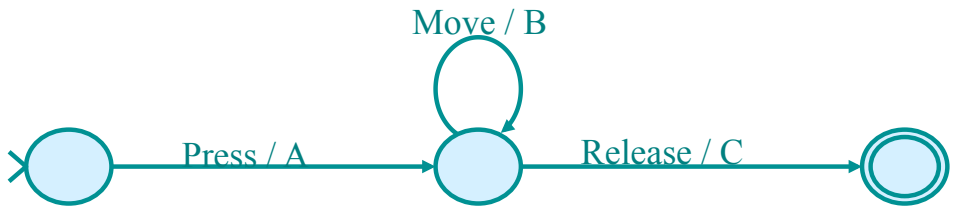
- **Remarque** : les actions sont parfois sur les **états**
  - i.e. quand on entre / sort de l'état
  - au lieu d'être sur les transitions

Machines à états

Retour à notre «bande élastique»

```
Accept the press for endpoint p1;
   A  P2 = P1;
      Draw line P1-P2;
Repeat
      Erase line P1-P2;
   B  P2 = current_position();
      Draw line P1-P2;
Until release event;
   C  Act on line input;
```

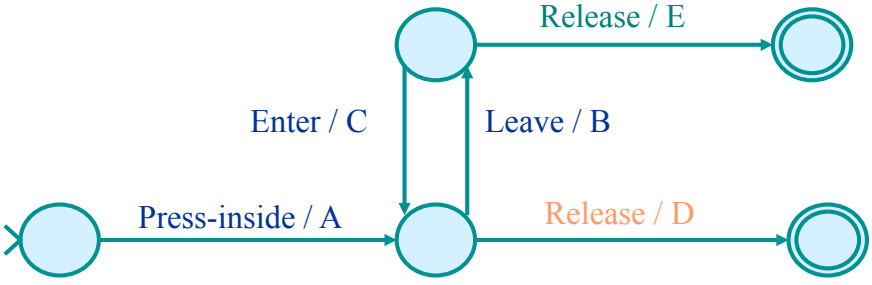
Machines à états




```
Accept the press for endpoint p1;
   A  P2 = P1;
      Draw line P1-P2;
Repeat
      Erase line P1-P2;
   B  P2 = current_position();
      Draw line P1-P2;
Until release event;
   C  Act on line input;
```

Machines à états

Autre exemple : bouton



A: highlight button
B: unhighlight button
C: highlight button
D: do button action
E: do nothing

Machines à états

Remarques

- **Evénements** : de plus ou moins haut niveau
  - peuvent aussi être des timeouts (cf. **QTimer**)
- **Gardes**
  - condition supplémentaire
  - notation : **prédicat : événement / action**
  - exemple: **button.enabled: press-inside / A**

Machines à états

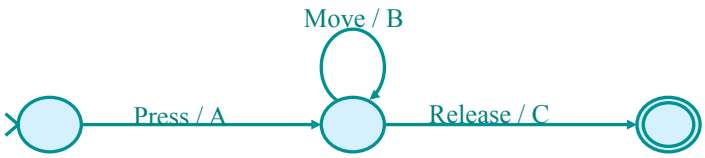
Implémentation

- doit être compatible avec la **boucle de gestion des événements**
- peut être faire « en dur » (cf. exemple page suivante)
- ou via des **tables d'états et de transitions**
- préférer l'utilisation d'**outils existants** (e.g. **QStateMachine** pour **Qt**)

```
state = start_state;
for ( ; ; ) {
     raw_evt = wait_for_event();
     evt = transform_event(raw_evt);
     state = fsm_transition(state, evt);
}
```

Machines à états

Implémentation «en dur»



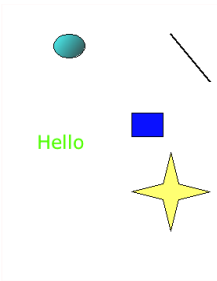

```
state = start_state;
for ( ; ; ) {
     raw_evt = wait_for_event();
     evt = transform_event(raw_evt);
     state = fsm_transition(state, evt);
}
```

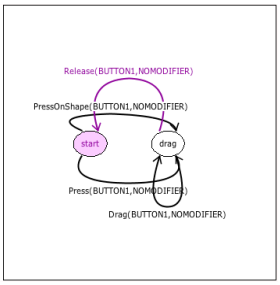
```
State fsm_transition(state, event) {
  switch(state) {
   case 1:
      switch(event.kind) {
        case MouseMove:
           action_B();
           state = 1;

        case MouseRelease:
           action_C()
              state = 2;
         }
         break;
   case 0:
     switch(event.kind) {
           case ...
        }
    }
   return state;
}
```

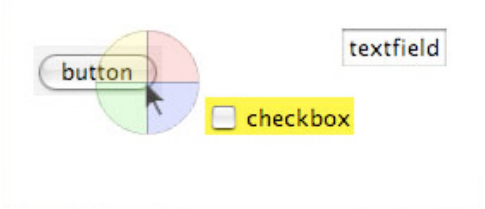

SwingStates

Implementation Java

- Caroline Appert, LRI
- http://swingstates.sourceforge.net/
- classe **Canvas** qui facilite le dessin interactif
- exemples d'interactions avancées







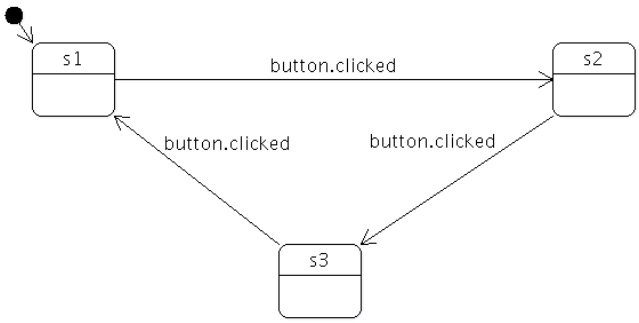
Qt State Machine

Qt : State Machine Framework

- modèle hiérarchique : **Statecharts**
- basés sur **SCXML**
- permet entre autres :
  - **groupes** d'états (hiérarchies)
  - états **parallèles** (pour éviter l'explosion combinatoire)
  - états «**historiques**» (pour sauver et restaurer l'état courant)
  - d'injecter ses **propres** événement
- sert aussi pour les **animations**

Bouton à trois états

```
// créer la machine à états
QStateMachine * mac = new QStateMachine( );

QState *s1 = new QState( );
QState *s2 = new QState( );
QState *s3 = new QState( );
mac->addState(s1);
mac->addState(s2);
mac->addState(s3);
```




```
s1->addTransition(button, SIGNAL(clicked( )), s2);      // transition de s1 à s2 si on clique le bouton
s2->addTransition(button, SIGNAL(clicked( )), s3);
s3->addTransition(button, SIGNAL(clicked( )), s1);

                                                        // les actions sont sur les états
QObject::connect(s3, SIGNAL(entered( )), window, SLOT(showMaximized( )));
QObject::connect(s3, SIGNAL(exited( )), window, SLOT(showMinimized( )));

mac->setInitialState(s1);          // ne pas oublier !
mac->start( );                     // lance la machine
```

Hiérarchies

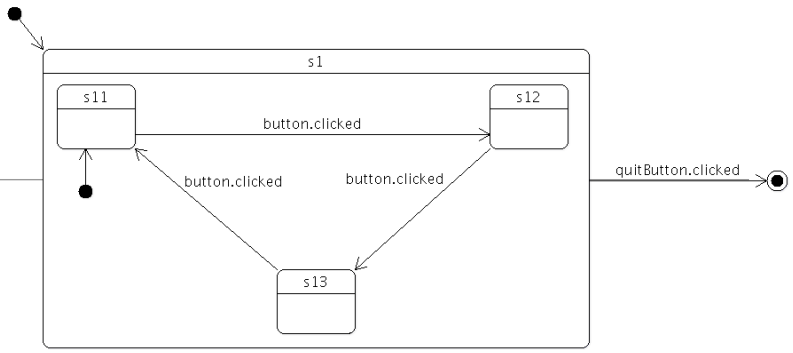
Avantages

- permettent de simplifier les schémas
- les états enfants **héritent des transitions** des états parents

Exemple (page suivante)

- on rajoute à l'exemple précédent un bouton **quitButton** qui ferme l'application
- les états **héritent** de la transition correspondante

Hiérarchies

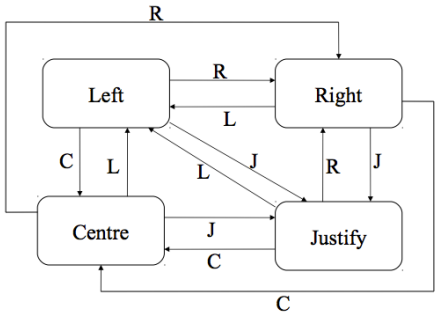



```
// s11, s12, s13 sont groupés dans s1
QState *s1 = new QState( );
mac->addState(s1);
QState *s11 = new QState(s1);
QState *s12 = new QState(s1);
QState *s13 = new QState(s1);

s11->addTransition(button, SIGNAL(clicked( )), s12);
// et les 2 autres transitions…
s1->setInitialState(s11);

QFinalState *s2 = new QFinalState( );        // s2 est un étal final
mac->addState(s2);
                                             // les enfants de s1 héritent de la transition s1 -> s2
s1->addTransition(quitButton, SIGNAL(clicked( )), s2);

                                             // le signal finished() est émis quand on atteint l'état final
connect(mac, SIGNAL(finished( )), QApplication::instance( ), SLOT(quit( )));

mac->setInitialState(s1);
mac->start( );
```

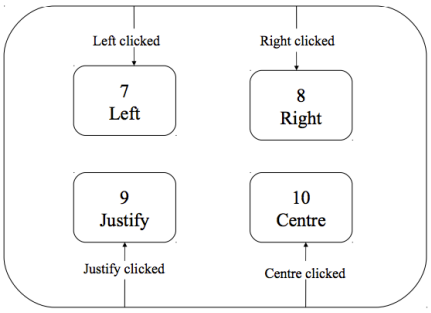
Hiérarchies

Second exemple

- 4 **radio boutons** (= modes) **exclusifs**
- **héritage** => schéma bien plus **simple et intuitif** !
- noter :
  - les transitions de l'état parent **vers** les enfants
  - que le parent est **toujours actif**



solution « plate »



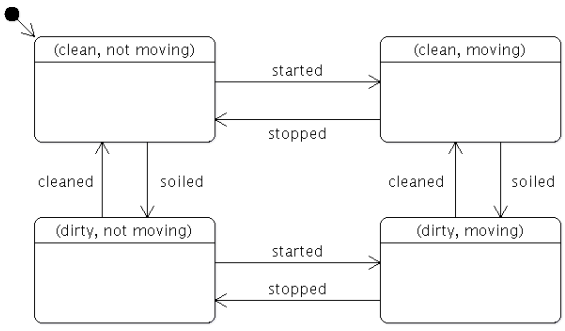
solution hiérarchique

Hiérarchies avec états parallèles

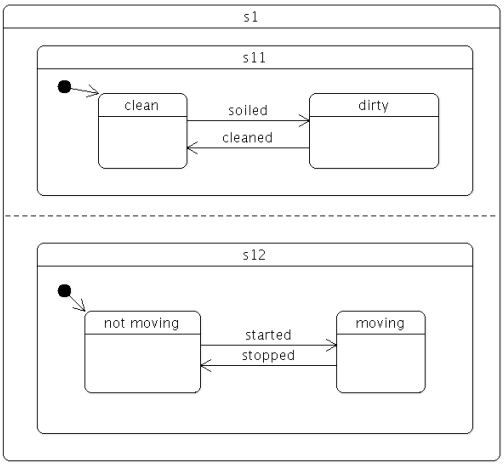
Pour éviter l'explosion combinatoire

- Exemple : **2 boutons à 2 états** (typiquement, 2 **check boxes indépendantes**)

```
QState *s1 = new QState(QState::ParallelStates);

// on peut à la fois entrer dans s11 et dans s12
QState *s11 = new QState(s1);
QState *s12 = new QState(s1);
```



solution « plate »



solution hiérarchique

Savoir si un état est actif

Solution 1

- Méthode **active()** de chaque **état**

Solution 2

- Méthode **configuration()** de la **machine à états**

```
void MainWindow::setClock(int value) {
    if (hours_state->active()) {
        setHours(value);
    }
    else if (minutes_state->active()) {
        setMinutes(value);
    }
    else if (seconds_state->active()) {
        setSecond(value);
    }
}
```

réglage de l'heure d'une horloge

Types de transitions

Pour les Signaux

- **QSignalTransition** : c'est ce qu'on a utilisé jusqu'à présent via :

```
s1->addTransition( button, SIGNAL(clicked( )), s2 );
```

Pour les Evénements

- **QEventTranslation**
- **QKeyEventTranslation**
- **QMouseEventTransition**

On peut aussi créer ses *propres* transitions

- en dérivant **QAbstractTranslation**

Transitions.h

Ce header « maison »

- définit des fonctions simplifiées pour les cas courants
- *http://www.telecom-paristech.fr/~elc/qt/Transitions.h*

Signaux

```
QSignalTransition* addTrans( QState* from, QState* to,
                             QObject* sender, const char* signal );

QSignalTransition* addTrans( QState* from, QState* to,
                             QObject* sender, const char* signal,
                             QObject* receiver, const char* slot );
```

- la 2e forme permet d'ajouter une **action** (= un slot)
- l'action est sur la **transition** (pas sur l'état)

Exemple

```
addTrans(s1, s2, button, SIGNAL(clicked( )), this, SLOT(doIt( )));
```

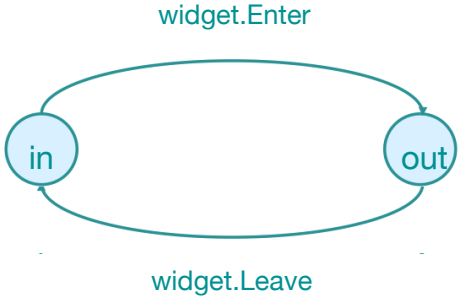

Transitions sur les événements

Evénements quelconques

```
QEventTransition* addEventTrans( QState* from, QState* to,
                                 QObject* source, QEvent::Type eventType );

QEventTransition* addEventTrans( QState* from, QState* to,
                                 QObject* source, QEvent::Type eventType,
                                 QObject* receiver, const char* slot );
```

Exemple

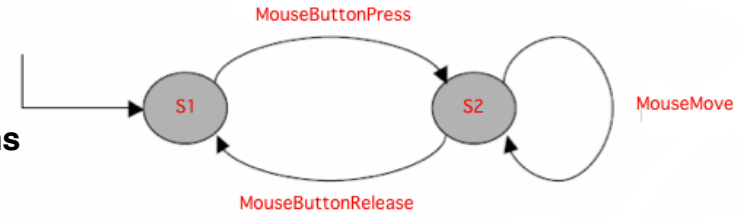
```
addEventTrans( out, in, widget, QEvent::Enter );
addEventTrans( in, out, widget, QEvent::Leave );
```



Transitions sur les événements

Evénements souris

- permet de spécifier les **types** d'événements souris et les **boutons**

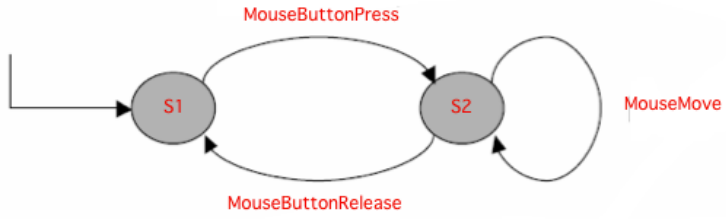



```
// transition de s1 vers s2 quand le bouton gauche de la souris est pressé sur «canvas»
addMouseTrans( s1, s2,
               canvas, QEvent::MouseButtonPress, Qt::LeftButton,
               this, SLOT(newLine( )) );

addMouseTrans( s2, s2,
               canvas, QEvent::MouseMove, Qt::NoButton,     // ATT: NoButton pour MouseMove !
               this, SLOT(adjustLine( )) );

addMouseTrans( s2, s1,
               canvas, QEvent::MouseButtonRelease, Qt::LeftButton );
```


Transitions sur les événements

Evénements souris (2)

- **plusieurs** boutons
- **modifieurs** clavier




```
// il faut appuyer LeftButton ou RightButton
addMouseTrans( s1, s2, canvas, QEvent::MouseButtonPress, Qt::LeftButton | Qt::RightButton );

// double clic
addMouseTrans( s1, s2,  canvas, QEvent::MouseButtonDblClick, Qt::LeftButton );

// il faut appuyer SHIFT et LeftButton
addMouseTrans( s1, s2, canvas, QEvent::MouseButtonPress, Qt::LeftButton )
               ->setModifierMask( Qt::ShiftModifier );
```

Position du curseur

```
addMouseTrans( s1, s2, canvas, QEvent::MouseButtonPress, Qt::LeftButton,
                this, SLOT(newLine( )) );

addMouseTrans( s2, s2,  canvas, QEvent::MouseMove, Qt::NoButton,
                this, SLOT(adjustLine( )) );
```

Problème

Les slots **newLine()** et **adjustLine()** n'ont pas de paramètre **QEvent** :

=> comment peuvent-ils accéder à la **position du curseur** ?

Position du curseur

```
addMouseTrans( s1, s2, canvas, QEvent::MouseButtonPress, Qt::LeftButton,
                this, SLOT(newLine( )) );

addMouseTrans( s2, s2,  canvas, QEvent::MouseMove, Qt::NoButton,
                this, SLOT(adjustLine( )) );
```

Solution 1

```
QPoint cursorPos(QWidget* widget)  { return widget->mapFromGlobal(QCursor::pos( )); }
```

- renvoie la position du curseur **relativement à un widget**
- petit décalage éventuel avec les systèmes **asynchrones** (X11 en réseau)

Solution 2

```
QPoint pos;
addMouseTrans( s2, s2, canvas, QEvent::MouseMove, Qt::NoButton, pos);
```

- **pos** contiendra la **position** du curseur mise à jour à chaque transition

Implémentation : filtres de transitions

Principe

- 1) lorsqu'une transition **peut** être activée sa méthode **eventTest( )** est appelée
- 2) la transition n'est franchie **que si eventTest( )** renvoit **true**

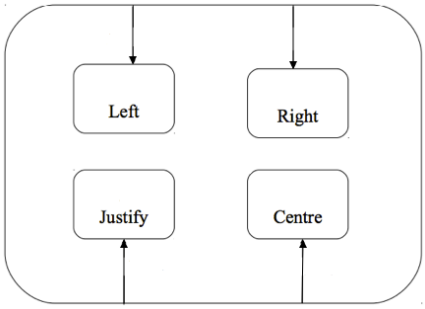
```
class MouseTransition : public QMouseEventTransition {
    QPoint& pos;

    bool eventTest(QEvent * e) {
        if ( ! QMouseEventTransition::eventTest(e))  return false;          // ne pas oublier cette ligne !
        QEvent* realEvent = static_cast<QStateMachine::WrappedEvent*>(e)->event( );  // vrai événement
        switch (realEvent->type( )) {
        case QEvent::MouseMove:
        case QEvent::MouseButtonPress:
        case QEvent::MouseButtonRelease:
            _pos = static_cast<QMouseEvent*>(realEvent)->pos( );        // sauver la position de la souris
        }
        return true;                // true signifie que l'événement déclenche la transition (sinon il est ignoré)
    }
};
```


Activer les transitions programmatiquement

Exemple

- 4 états correspondant à des modes exclusifs de MaClasse
- comment les activer via la fonction ?

  void MaClasse::setMode(int mode)

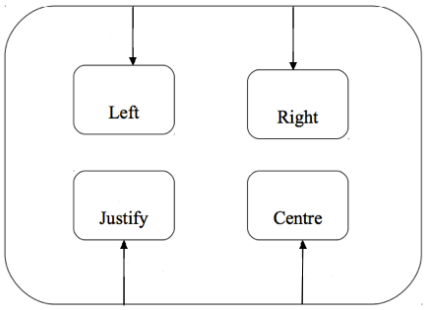


Activer les transitions programmatiquement

Exemple

- 4 états correspondant à des modes exclusifs de MaClasse
- comment les activer via la fonction ?

```
void MaClasse::setMode(int mode)
```

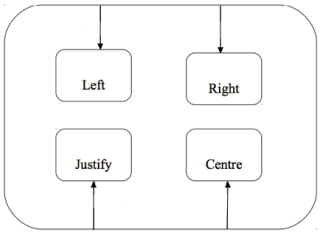


Solutions

- **setMode()** émet des **signaux**
- **setMode()** envoie des « **user events** » (définis par le programmeur)

User Events

```
// parent_state est le parent des autres états
addUserEventTrans( parent_state, left_state, LEFT_MODE );
addUserEventTrans( parent_state, right_state, RIGHT_MODE );
addUserEventTrans( parent_state, justify_state, JUSTIFY_MODE );
addUserEventTrans( parent_state, centre_state, CENTRE_MODE );

void MaClasse::setMode(int mode) {
    mac.postEvent( new QEvent(mode) );     // mac est la machine a états
}
```



setMode() envoie des « **user events** »

- dérivent de **QEvent** avec un **type** entre **QEvent::User** et **QEvent::MaxUer**
- peuvent être envoyés directement sur la **machine à états**

User Events avec délai temporel

```
void MaClasse::setMode(int mode) {
      mac.postDelayedEvent( new QEvent(mode) delay );      // en millisecondes
 }
```

L'événement sera activé **après ce délai**

- peut aussi servir pour les **animations**

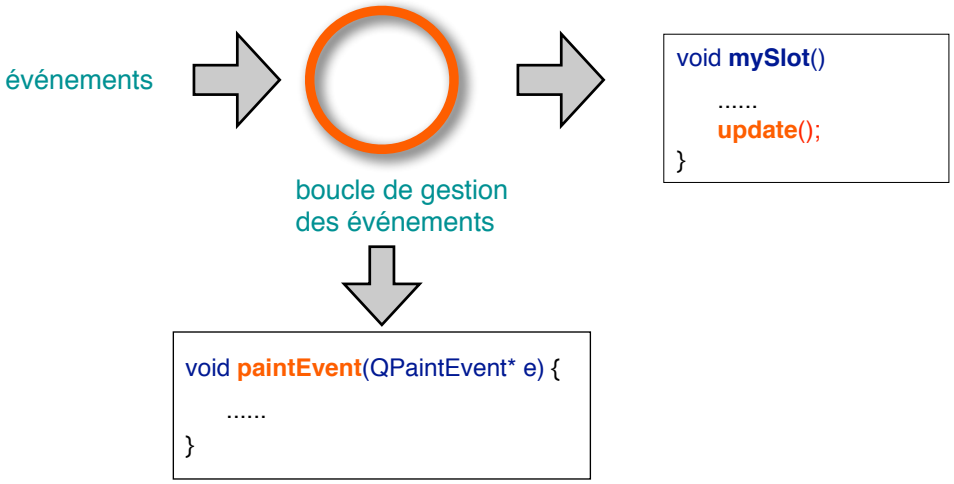
Timers

```
QTimer * timer = new QTimer( );
connect(timer, SIGNAL(timeout( )), widget, SLOT(doSomething( )));

timer->start(delay)
…
timer->stop();
```

Le signal **timeout**() sera activé **indéfiniment**, chaque fois **après ce délai**

- ce **signal** (comme tous les autres) est compatible avec les **machines à états**
- **setSingleShot**(true) : une seule activation
- **délai** nul => slot activé **dès que possible**
  (= dès que la boucle de gestion des événements est inactive)

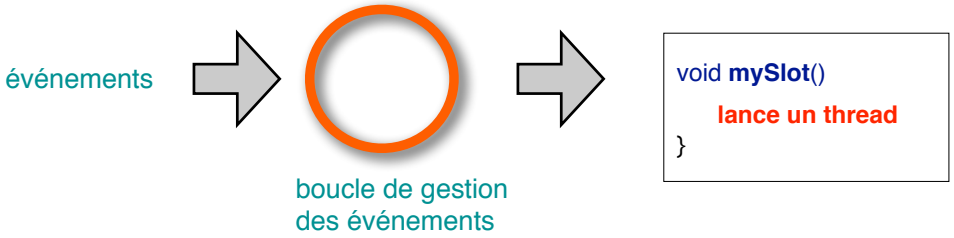
Threads



Rappel : boucle de gestion des événements

- les événements sont traités de manière **séquentielle**
- **problème** : si un slot **bloque** ou **attend des données**
  - typiquement le cas avec des applications réseau

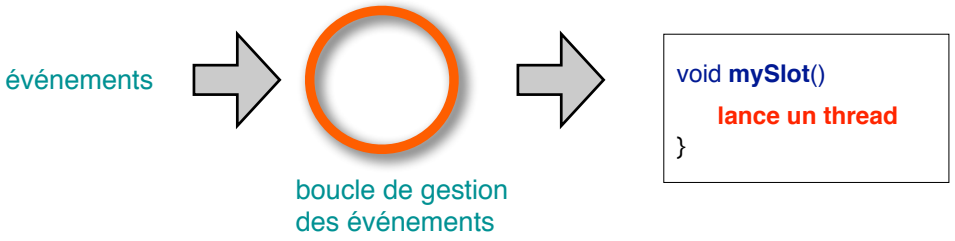
Threads



Solutions

- 1) le slot lance un **thread** et retourne **immédiatement**
  - le **thread** se termine une fois l'action réalisée
- 2) un **thread** tourne en **permanence**
  - et **notifie** régulièrement l'application

Threads



QThread

- **solution de base de Qt :**
  - on peut s'en servir de différentes façons (ci-après la plus simple)
  - à utiliser avec **prudence** (voir la doc)
- **principe** : sa méthode **run**() s'exécute dans un **nouveau thread**
  - par défaut elle lance **sa propre boucle** de gestion des événements
  - on peut la redéfinir

Threads

```
class DTracker : public QThread {
    Q_OBJECT
public:
    DTracker(const std::string& hostname, int port);
signals:
    void dataReady(const QString& data);
private:
    /// run() is executed in a new thread and gets data from a socket.
    void run( ) {
        bool ok = true;
        QString data;

        while (ok) {
            data = getData();
            emit dataReady(data);
        }
    }
    ....
};
```

Pour lancer le traitement

- appeler la méthode **start**( )

Threads

Problème

- l'interface graphique « vit » dans le **thread principal**
  - => en théorie on ne peut **pas modifier les widgets** depuis un **autre thread**

Threads

Problème

- l'interface graphique « vit » dans le **thread principal**
  - => en théorie on ne peut pas modifier les widgets depuis un autre thread

Solution : connect

- dans le thread principal (par exemple dans le constructeur de la **MainWindow**)

```
dtracker = new DTracker(hostname, port);
connect( dtracker, SIGNAL(dataReady(QString)), this, SLOT(showData(QString)) );
```

- connect() gère automatiquement une « **queue de connexions** »
  - => le **slot** showData() est bien exécuté dans le **thread principal**

Threads

Alternatives

- **QTimer**
- **QSocketNotifier** etc.
- **QEventLoop::**processEvents()
- **QtConcurrent** framework

Propriétés et animation

Propriétés

```
s1->assignProperty( label, "text", "In state s1" );
s1->assignProperty( button, "geometry", QRectF(0, 0, 50, 50) );
```

Base des animations

```
s1->assignProperty( button, "geometry", QRectF(0, 0, 50, 50) );
s2->assignProperty( button, "geometry", QRectF(0, 0, 100, 100) );
addTrans( s1, s2, button, SIGNAL(clicked( )) )
        ->addAnimation( new QPropertyAnimation( button, "geometry" ) );
```

Voir aussi QML

- langage déclaratif en **JavaScript**
- permet davantage de possibilités

Touch

Initialisation

```
setAttribute(Qt::WA_AcceptTouchEvents);
```

Redéfinir la méthode event( ) de QWidget

```
bool MyWidget::event(QEvent * e) {
    switch (e->type( )) {
    case QEvent::TouchBegin:
    case QEvent::TouchUpdate:
    case QEvent::TouchEnd:
        return myTouchFunc( static_cast<QTouchEvent *>(e) );   // ma méthode pour le touch
    default:
        return QWidget::event(e);     // appeler la méthode standard dans les autres cas
    }
}
```


Touch

```
bool MyWidget::event(QEvent * e) {
    switch (e->type( )) {
    case QEvent::TouchBegin:
    case QEvent::TouchUpdate:
    case QEvent::TouchEnd:
        return myTouchFunc( static_cast<QTouchEvent *>(e) );
    default:
        return QWidget::event(e);
    }
}
```

Implémentation

La méthode myTouchFunc(QTouchEvent * e) :

- doit renvoyer **true** si l'événement est accepté
- a accès aux **points** (et leurs caractéristiques : ex : la pression si disponible) et leurs **états** (Pressed, Moved, Stationary, Released) via :

```
e->touchPoints( )
e->touchPointStates( )
```

Gestes

Gestes prédéfinis

```
grabGesture(Qt::PanGesture);
grabGesture(Qt::PinchGesture);
grabGesture(Qt::SwipeGesture);
```

Redéfinir la méthode event( ) de QWidget

```
bool MyWidget::event(QEvent *e) {
    switch (e->type( )) {
    case QEvent::Gesture:
        return myGestureFunc(static_cast<QGestureEvent *>(e));    // ma méthode
    default:
        return QWidget::event(e);      // traitement standard dans les autres cas
    }
}
```


Gestes

```
bool MyWidget::event(QEvent *e) {
    switch (e->type( )) {
    case QEvent::Gesture:
        return myGestureFunc(static_cast<QGestureEvent *>(e));
    default:
        return QWidget::event(e);
    }
}
```

Implémentation

La méthode myGestureFunc(QGestureEvent * e)

- e->gesture() permet de récupérer les gestes d'un certain type
- exemple :

```
bool MyWidget:: gestureEvent(QGestureEvent *e) {
    if ((QGesture* gest = e->gesture(Qt::SwipeGesture)))
        return mySwipeFunc(static_cast<QSwipeGesture*>(gest));
    else return true;
}
```

Gestes

Créer de nouveaux gestes et les reconnaître

C’est possible en sous-classant :

- **Questure**
- **QGestureRecognizer**

Voir cours et TP suivants