

Fmu Based Simulation Framework

Manuel du Développeur





Table des matières

1. INTRODUCTION	4
1.1 Glossaire	4
1.2 Références	4
1.3 Présentation générale	5
2. LE SYSTEME EXECUTIF	8
2.1 Mode simulation	8
2.2 Mode batch nogui	8
2.3 Mode full batch	8
2.4 Mode backtrack	9
2.4.1 Spécificité avec une configuration time-depend (Flag SimuMpc) :	10
2.5 Mode rejou	10
3. CONFIGURATION DE L'APPLICATION	11
3.1 Section simulation	11
3.2 Section séquences	13
3.3 Section Node	14
3.4 Section models	14
3.4.1 Modèle de type manuel	15
3.4.2 Modèle de type FMU	15
3.4.3 Modèle de type CAO (FbsfEditor)	16
3.5 Section PluginsList pour les plugins qml	16
4. DEVELOPPEMENT DE MODELES	17
4.1 Module de type manuel	17
4.1.1 Gestion des Paramètres globaux du module (config xml)	18
4.1.2 Généralisation de la notion de paramètre de la norme FMI	20



4.1.3	Api de connexion aux données publiques	21
4.1.4	Abonnement à la ZE	23
4.1.5	Publication dans la ZE	23
4.1.6	API de contrôle du système exécutif	24
4.1.7	Compilation d'un module manuel	24
4.2	Module de type Graphique et plugin Qml	25
4.2.1	Gestion des paramètres pour un modèle CAO de FbsfEditor	26
4.2.2	Gestion de la ZE.....	26
4.2.3	Abonnement à la ZE	26
4.2.4	Publication vers la ZE	27
5.	ANNEXES	31
5.1	Installation du Framework	31
5.1.1	Prérequis.....	31
5.1.2	Procédure d'installation.....	31
5.1.3	Principes généraux d'organisation.....	32
5.2	Développement de modèles	32



1. INTRODUCTION

1.1 Glossaire

API	A pplication P rogramming I nterface
C/C++	Langages de programmation de haut niveau standardisés
GIT	Logiciel libre de gestion de versions décentralisé
IHM	I nterface H omme M achine
JDD	J eu d e D onnées
QML	Q t M arkup L angage
L3S	L ogiciel S imulation S ervices & S upport
MVC	M odel V iew C ontroller (Patron de conception)
PARSER	Analyseur syntaxique
BACKTRACK	Fonctionnalité qui permet de parcourir l'historique de l'évolution de variables disponibles à l'IHM
TIME DEPEND	Mode spécifique pour des applicatifs utilisés dans les simulateurs d'optimisation. Convertie les vecteurs de la ZE en vecteurs temporels définissant les valeurs du passé et futur.
SIMUMPC	Permet d'indiquer aux objets QML que le mode TIME DEPEND est actif.
FBSF	F mu B ased S imulation F ramework
FBSFEDITOR	Editor de document CAO (Graphique ou Logic) natif de FBSF
FMI	F unctional M ock-up I nterface, définit une interface normalisée à utiliser dans les simulations.
FMU	F unctional M ock-up U nit, module de simulation à la norme FMI
XML	Langage de structuration de données, utilisé notamment pour la configuration d'un simulateur FBSF
ZE	Z one d' E change pour les variables publiques du simulateur

1.2 Références

- Norme Fmi (<https://www.fmi-standard.org>)
- Documentation Qt et Qt Quick Control (<https://doc.qt.io/>)
- Manuel utilisateur Fbsf du « Plotter »
- Manuel utilisateur Fbsf du « Monitor »
- Manuel utilisateur Fbsf de l'« Application Tool Bar »
- Manuel utilisateur FbsfEditor

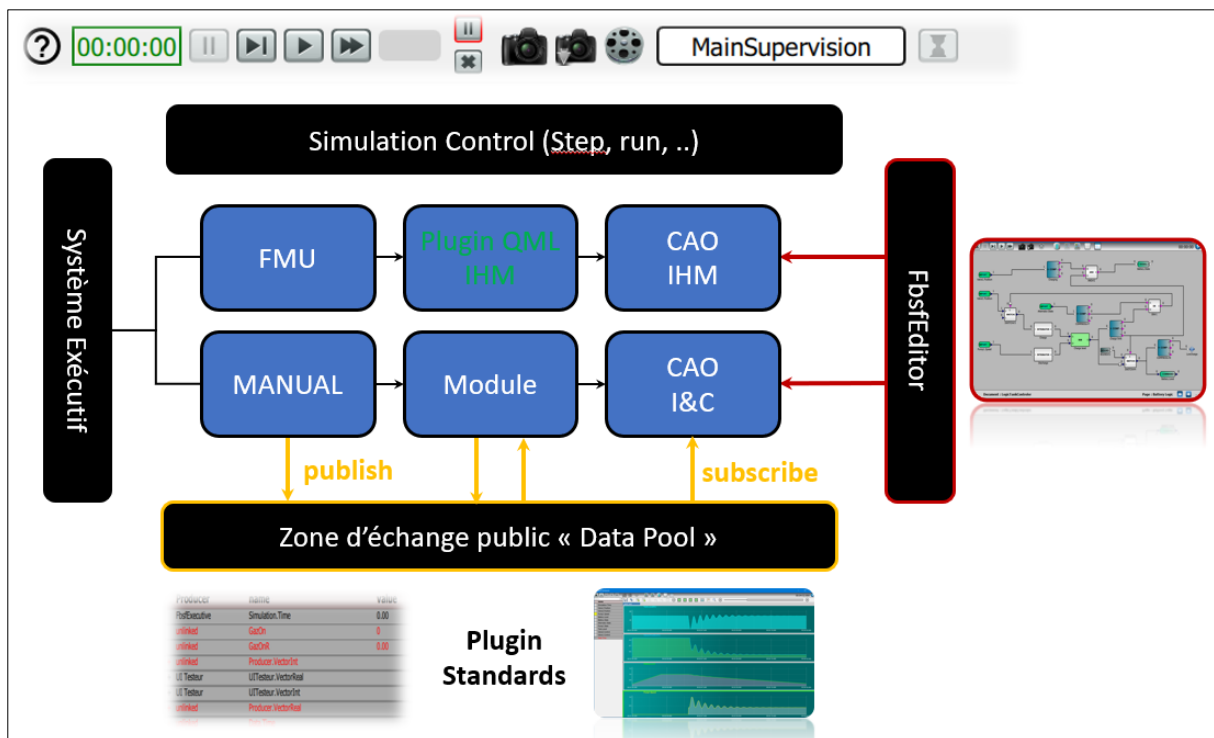
1.3 Présentation générale

FBSF est un environnement multiplateformes / multi-machines d'intégration de fonctions de simulation. Il propose un environnement d'exécution et des outils de contrôle et de supervision des fonctions de simulation.

FBSF est aussi un moteur de « co-simulation » permettant d'intégrer n'importe quel modèle **FMU** de simulation compatible avec la norme FMI 2.0.

Il intègre notamment un système exécutif pour applications modulaires comportant les fonctionnalités suivantes :

- Contrôle du cycle de vie des modules fonctionnels instanciés,
- Interconnexion des données « publiques » produites et consommées entre modules ZE,
 - API d'abonnement et de publication (**publish**, **subscribe**)
- Contrôle du cadencement de modules fonctionnels,
- Communications asynchrones entre interfaces graphiques et modèles.



Les notions de module et interface sont implémentées par les concepts de : Module édité manuellement (développement ou encapsulation de codes scientifiques, interfaces avec applications industrielles temps réel, ...)






- Module FMI 2.0 (Functional Mockup Unit),

- **Editeur CAO** de modèle de contrôle commande,
- **Editeur CAO** de pages graphiques,
- **Plugin d'Interface graphique** fondée sur la technologie **QML**.


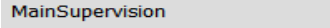
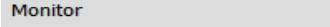
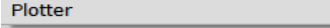
Le concept de Framework désigne l'ensemble des fonctions exécutives et les outils mis à disposition de l'utilisateur.

- Un bandeau de contrôle de la simulation avec accès aux IHM applicatives

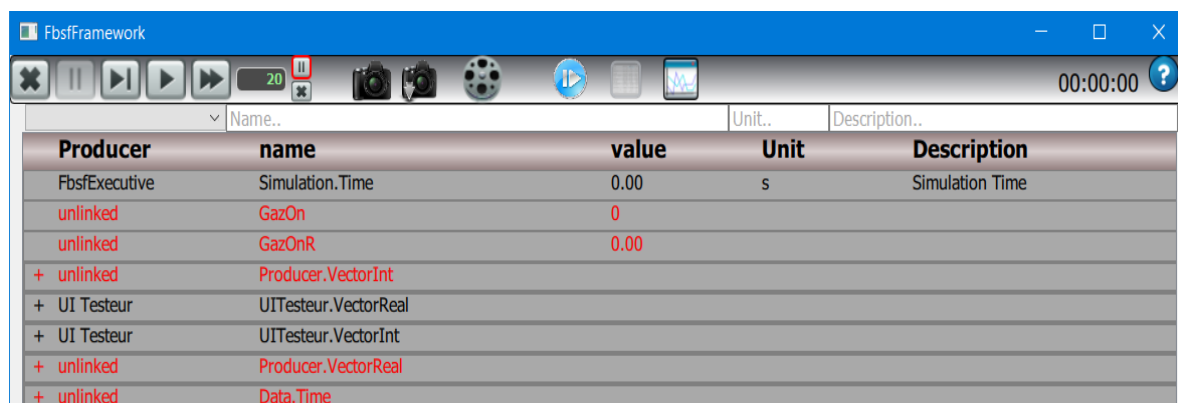
Le contrôle de la simulation avec les fonctions suivantes

	Temps de calcul de la simulation (Grisé quand le simulateur est en mode calcul)
	Contrôle simulation : pause, pas à pas, marche, accéléré et indicateur d'erreur avec accès au logfile
	Spécification du nombre de pas en marche et accéléré Indication de l'action en fin d'exécution : Pause ou arrêt
	Ecriture et lecture d'état sur/depus un fichier
	Enregistrement de l'historique sur un fichier pour le rejouer.

La visualisation d'IHM de contrôle et de supervisions par sélecteur de vues

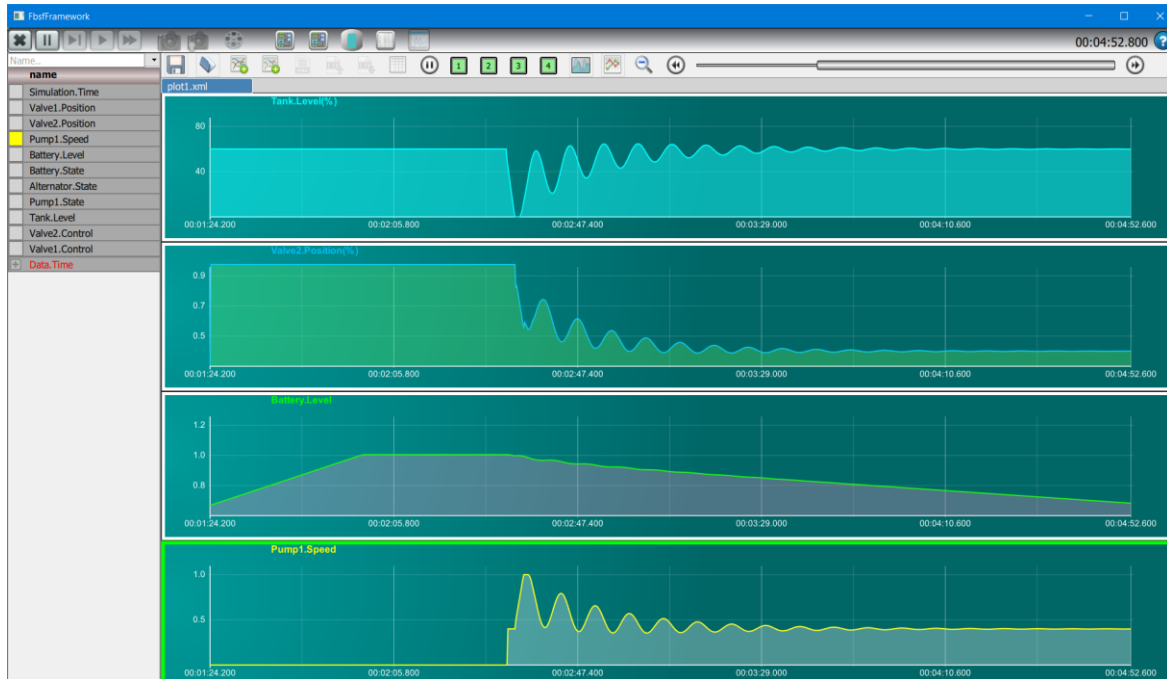
	Affichage du Plotter Fbsf
	Affichage du Moniteur Fbsf
	Affichage d'IHM de supervision
	Affichage de modèle physique ou de contrôle commande

- Un moniteur de données pour visualisation des données publiques.



Producer	name	value	Unit	Description
FbsfExecutive	Simulation.Time	0.00	s	Simulation Time
unlinked	GazOn	0		
unlinked	GazOnR	0.00		
+ unlinked	Producer.VectorInt			
+ UI Testeur	UITesteur.VectorReal			
+ UI Testeur	UITesteur.VectorInt			
+ unlinked	Producer.VectorReal			
+ unlinked	Data.Time			

- Un afficheur de courbes évolué pour visualisation des profils temporels des données publiques.



Cet afficheur de courbes peut être configuré pour convertir des valeurs dans des unités décrites à travers le fichier « **DisplayUnit.csv** ».

Pour être pris en compte, ce fichier doit être positionné à la racine du projet de la variable d'environnement **APP_HOME** et sa syntaxe est la suivante :

```
# Unit;DisplayUnit;a;b
degC; K;1;273.15
Pa;Bar;1.00E-05;0
pa;Bar;1.00E-05;0
```

Note :

La définition et configuration d'un simulateur FBSF se fait par édition d'un fichier xml qui est passé en argument de l'exécutable FbsfFrameWork.exe.

A titre d'exemple, le cadencement et l'ordre d'exécution des modules sont indiqués à ce niveau.

La syntaxe et les différentes options de ce fichier sont explicitées dans le chapitre 3.



2. LE SYSTEME EXECUTIF

Le rôle du système exécutif est de prendre en charge les modèles et interfaces graphique du point de vue cadencement synchronisé et de l'interconnexion des données produites et consommées de la **ZE**.

L'organisation par séquence permet de :

- Paralléliser l'exécution des modèles par groupes,
- De sous itérer durant un pas de calcul pour un groupe de modèles.

Note :

Dans une séquence de modèles, le flux des données est alimenté en mode « pipe-line », c'est-à-dire que le calcul du modèle précédent est immédiatement disponible pour le modèle suivant.

Pour garantir la reproductibilité des modèles couplés de façon explicite, il est préconisé de les exécuter dans la même séquence.

Mode sous itérations : Une séquence qui sous itère exécute son groupe de modèle N fois dans un pas de calcul (TimeStep). Les données sont également propagées en mode « pipe-line » pour la séquence qui sous itère.

2.1 Mode simulation

L'ensemble des modèles est exécuté selon un cadencement prédéfini avec possibilité d'interagir avec le processus au moyen de l'interface graphique.

Arguments en mode simulation" : **FbsfFramework.exe config.xml**

2.2 Mode batch nogui

Ce mode consiste à exécuter la simulation y compris avec des modules de type ModuleLogic présents dans la configuration, **sans IHM visible**.

Les modèles s'exécutent sans aucune interface graphique et en séquence conformément à la configuration jusqu'à une instruction de fin d'exécution contrôlée par un module applicatif. Pour exécuter un ordre d'arrêt de la simulation, un module manuel dispose d'une méthode de contrôle des états du système exécutif (voir le chapitre 4.1.6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Arguments en mode batch : **FbsfFramework.exe config.xml -no-gui**

2.3 Mode full batch

Ce mode a pour objectif de réduire les ressources Qt nécessaire au fonctionnement de l'application. Il permet exécuter la simulation sur la base de module manuels ou Fmu, mais



sans aucun module de type Visual (ModuleLogic, ModuleGraphic) présents dans la configuration.

Pour produire un jeu de binaires minimal pour le mode full batch :

Dans QtCreator : Pour activer le build du mode full batch on ajoute une "build configuration" BATCH dans la page du Build du projet FBSF avec en Additional arguments du Build step "qmake" : CONFIG+=BATCH

Build Steps



Avec un script Build.bat : script de build en ligne de commande

- Avec argument "batch" execution du build full batch
- Sans argument : prompt le choix release ou debug.

Ressources binaires nécessaires pour un mode batch (hors application APP_HOME) :

- **FbsfBatch.exe** (Executable full batch)
- FbsfBaseModel.dll, FbsfPublicData.dll et FbsfNetwork.dll (librairies FBSF)
- Qt5Core.dll, Qt5Network.dll et Qt5Xml.dll (librairies Qt)
- 7z.dll et 7z.exe (ressource pour les FMU)

Arguments en mode simulation" : **FbsfBatch.exe config.xml**



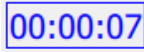



Note : Les jeux de librairies binaires full batch ne sont pas compatibles avec les autres modes. Il convient donc de les exporter avec l'exécutable et les ressources dans un dossier dédié à l'exécution d'une simulation en mode full batch.

2.4 Mode backtrack

Seule une IHM de supervision réalisée avec « FbsfEditor Graphic » ou à travers un plugin qml « images à façon » est éligible à ce mode qui permet de parcourir l'historique de l'évolution de variables disponibles à l'IHM depuis le temps t=0 jusqu'au moment de l'activation de ce mode.

L'utilisateur peut se déplacer dans le passé d'une simulation et voir les IHM Graphiques se mettre à jour avec les valeurs du passé. L'utilisateur peut se déplacer dans le passé, pas à pas ou rejouer en continue une période de temps.



	Bouton d'activation du mode uniquement pour les IHM
	Slider de contrôle de l'historique du back track
	Temps actuel de l'historique
	Symbolise le temps présent en mode time depends
	Contrôle de l'historique : pause, pas à pas, marche
	Nombre de pas, Nombre de FPS et boucle infini pour le run

Note :

Pour être éligible à ce mode, les plugin qml « images à façon » devront déclarer une variable dans leur fichier « main.qml » : `property bool backtrackable : true`

2.4.1 Spécificité avec une configuration time-depend (Flag SimuMpc) :

Une barre rouge détermine la limite entre le passé et le futur accessible par le slider.

Le choix pris dans la bibliothèque graphique standard de « FbsfEditor » est de se positionner à la dernière valeur du passé en mode run simulation.

2.5 Mode rejou

Deux cas possibles :

- **Rejou partiel** : Une partie des modèles est rejoué, une autre partie continue à calculer. Ceci permet de rejouer plusieurs scénarios pour étudier les variations de réponse d'un ensemble de modèles.
- **Rejou complet** : Le calcul est inactif, le processus de simulation est rejoué intégralement. Un slider permet de reprendre le rejou en tout point entre début et fin.

Arguments en mode rejou : `FbsfFramework.exe config.xml -r[eplay] file.dat`



3. CONFIGURATION DE L'APPLICATION

Le framework FBSF intègre des outils graphiques configurés en tant que plugins standards (moniteur et traceur de courbes). Le fichier de configuration « **plugins.xml** » est intégré aux fichiers d'installation du framework mais il peut être placé dans le répertoire de base de l'application pour le spécialiser.

On peut par exemple supprimer le moniteur ou ajouter des pages de courbes à charger lors de l'initialisation de l'application.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Items>
  <PluginsList>
    <Plugin>
      <name>Monitor</name>
      <path>qml/Uiplugins/FbsfMonitor</path>
    </Plugin>
    <Plugin>
      <name>Plotter</name>
      <path>qml/Uiplugins/FbsfPlotter</path>
    </Plugin>
  </PluginsList>
</Items>
```

Une application développée à l'aide de FBSF se lance par l'appel de l'exécutable « *FbsfFramework.exe* » et d'un fichier de configuration xml en argument dont le nom est libre.

Ce fichier de configuration décrivant l'ensemble de l'application est sous format xml, il comporte plusieurs sections décrites dans les chapitres suivants :

3.1 Section simulation

Définition des paramètres généraux de la simulation.

```
<simulation version="1.0">
  <timestep>0.1</timestep>
  <speedfactor>0.5</speedfactor>
  <simuMpc>>false</simuMpc>
  <perfMeter>>false</perfMeter>
  <dataFlowGraph>>false</dataFlowGraph>
  <publishparam>true</publishparam>
  <snapshotparam>true</snapshotparam>
  <hidePauseBtn>true</hidePauseBtn>
  <hideStepBtn>true</hideStepBtn>
  <hideRunBtn>false</hideRunBtn>
  <hideSpeedBtn>false</hideSpeedBtn>
  <hideStepCrtBtn>false</hideStepCrtBtn>
  <hideSnapControlBtn>false</hideSnapControlBtn>
  <hideNavigationBtn>false</hideNavigationBtn>
  <hideBacktrackBtn>false</hideBacktrackBtn>
</simulation>
```



Les paramètres généraux sont :

- **<imestep>** Période de cadencement en secondes (**[0.5]**)
- **<speedfactor>** Facteur d'accélération (<1) et de ralenti (>1) (**[1.0]**)
- **<simuMpc>** Flag permettant aux objets de la Library « Logic ou Graphic » de savoir si le mode "time depend" est actif (**[false]**)
- **<perfMeter>** Flag permettant la journalisation et la publication en zone d'échange des temps de calcul (**[false]**). Voir 3.1.1
- **<dataFlowGraph>** Flag permettant de **généré** le flux de données de la zone d'échange dans un fichier « DataFlowGraph.dot » (**[false]**)
- **<hidePauseBtn>** permet de cacher le bouton associé de la Tool Bar (**[false]**)
- **<Publishparam>** voir chapitre 4.2.1 (**[false]**)
- **< snapshotparam >** voir chapitre 4.2.1 (**[false]**)
- **<initialPlotList>** Fichier de définition des fenêtres de courbes à afficher à l'initialisation du simulateur (en relative par rapport à la variable APP_HOME)
- **<intialimage>** Choix du plugin à afficher à l'initialisation du simulateur (valeur « name » du module souhaité ex Monitor, Plotter, ...)

En mode standard, pour un affichage date UTC avec temps UTC initial [optionnel], ajouter :

```
<timeformat>utc</timeformat>  
<timestart>2015-03-25T12:00:00Z</timestart>
```

Pour le format date voir : https://www.w3schools.com/js/js_date_formats.asp

En mode "time depend" : le mode UTC est activé par défaut.



3.1.1 Performance meter

Le fichier PerfMeter.csv est produit dans le working directory et se structure comme suit :

- Les colonnes : phase d'exécution, type d'élément, nom de l'élément, mesure du temps cpu.
- Les 3 sections correspondant aux appels doInit(), doStep() et doTerminate() : initialisation, récurrence des cycles avec step numéroté et finalisation.
- Chaque section présente les informations structurées selon la hiérarchie d'éléments de la configuration (Executive/Sequence(s)/Module(s)).

	Type	Name	CpuTime
Init	Executive		0
Init	sequence	Principale	10
	module	Producer	10
step 1	Executive		0
step 1	sequence	Principale	28
	module	Producer	28
step 2	Executive		2
step 2	sequence	Principale	19
	module	Producer	19
Final	Executive		0
Final	sequence	Principale	0
	module	Producer	0

3.2 Section séquences

Définition des processus de cadencement et ordonnancement des modèles <sequences>

```
<sequences>
  <sequence>
    <name>Sequence1</name>
    <period>1</period>
    <models> ..... </models>
  </sequence>
  <sequence>
    <name>Sequence2</name>
    <period>1</period>
    <models> ..... </models>
  </sequence>
</sequences>
```

Une séquence est caractérisée par :



- `<name>` Son nom d'instance
- `<period>` Facteur de sur/sous itération (**optionnel avec défaut=1**)
 - `"period" > 1` pour un mode « basse fréquence »
 - `"period" < 1` pour un mode « haute fréquence »
- Sous-Section `< models>` : Les types de modèles instanciés (manuel, fmu)

3.3 Section Node

```
<sequences>
<sequence>
<models>
  <model> ..... </model>
  <node>
    <SubSequences>
      <SubSequence>
        <name>.....</name>
        <models>
          <model> ..... </model>
          <model> ..... </model>
          <model> ..... </model>
        </models>
      </SubSequence>
      <SubSequence>
        <name>.....</name>
        <models>
          <model> ..... </model>
        </models>
      </SubSequence>
    </SubSequences>
  </node>
  <model> ..... </model>
</models>
</sequence>
</sequences>
```

Note :

Les nœuds « **nodes** » ont un fonctionnement qui se rapproche des séquences, mais se place au même niveau qu'un modèle pour permettre des exécutions en parallèle avec des points de synchronisation. On peut de façon illimitée inclure des nœuds dans des nœuds parents.

3.4 Section models

Dans cette section chaque module à instancier doit être défini par des attributs dépendants de son type.



3.4.1 Modèle de type manuel

```
<model version="1.0">  
  <module>ModuleXXX</module>  
  <name>Consumer</name>  
  <type>manual</type>  
  <param1>10</param1>  
</model>
```

Un modèle manuel est caractérisé à minima par :

- **<module>** Son identifiant informatique (radical du nom de la .dll,.so),
- **<name>** Son nom d'instance
- **<type>** Son type manuel
- **<param1>** Paramètre utile dans le code du module voire chapitre 4.1.1

3.4.2 Modèle de type FMU

L'objectif du standard FMI est de fournir une interface standard pour coupler deux ou plusieurs outils de simulation dans un environnement de cosimulation.

Dans ce cadre, la communication entre les sous-systèmes est réduite à des points de communication discrets, entre lesquels les sous-systèmes sont traités de manière indépendante par leurs solveurs respectifs. Le système exécutif FBSF se comporte en algorithme maître du cadencement et du contrôle des échanges de données entre les sous-systèmes et la synchronisation de tous les solveurs esclaves.

Le modèle FMU est distribué sous forme d'archive et décompressé par le module générique FBSF au chargement de l'application.

Les données d'interface du FMU connectées avec les données publiques sont :

- Les causalités « **outputs** » publiées produites sous leur identifiant FMU
- Les causalités « **inputs** » publiées consommées sous leur identifiant FMU

La configuration d'un module FMU est la suivante

```
<model version="1.0">  
  <name>TuningFMU</name>  
  <path>FMU-TUNING/FMU-TUNING.fmu</path>  
  <type>fmu</type>  
  <starttime>0.0</starttime>  
  <timestep>100</timestep>  
  <dumpcsv>false</dumpcsv>  
  <prefixinput>true</prefixinput>  
  <prefixoutput>true</prefixoutput>  
</model>
```

- **<name>** Son nom d'instance



- `<path>` Chemin d'accès relatif au répertoire d'exécution (chemin du fichier .fmu)
- `<type>` Son type fmu
- `<starttime>` Un temps de départ ([0.0])
- `<timestep>` Un pas de temps de calcul ([timestep de la section générale])
- `<dumpcsv>` Une option dump des variables (true/[false])
- `<prefixinput>` Préfixe input et paramètre fixed avec nom de module (true/[false])
- `<prefixoutput>` Préfixe output et paramètre tunable avec nom de module (true/[false])

3.4.3 Modèle de type CAO (FbsfEditor)

```
<model version="1.0">
  <module>ModuleLogic</module>
  <name>TankLogic</name>
  <type>visual</type>
  <document>ModuleTank/LogicTankControler.qml</document>
</model>
```

Un modèle Visual Graphic ou Logic est caractérisé par :

- `<module>` **ModuleLogic** ou **ModuleGraphic**
- `<name>` Son nom d'instance
- `<type>` Son type **visual**
- `<document>` Chemin d'accès relatif au document qml

3.5 Section PluginsList pour les plugins qml

Les interfaces graphiques définies comme des plugins `<PluginsList>`

```
<PluginsList>
  <Plugin>
    <name>IHM1</name>
    <path>ModuleIHM</path>
  </Plugin>
</PluginsList>
```

Un plugin graphique est caractérisé par :

- `<name>` Son nom d'instance
- `<path>` Chemin d'accès au répertoire d'exécution (chemin du fichier **main.qml**)



4. DEVELOPPEMENT DE MODELES

4.1 Module de type manuel

Un module de type manuel permet à l'utilisateur de réaliser son propre modèle physique ou d'encapsuler un code de calcul tiers dans le formalisme FBSF.

Chaque fonction de simulation, ou module, est implémentée comme une librairie dynamique (dll, .so) chargée dynamiquement avec l'application. La description du séquençement et de l'ordonnancement des modèles est réalisée au moyen d'un fichier de configuration.

Le module est référencé par :

- Son type identifié par le nom (radical) de la librairie dynamique,
- Son nom d'instance dans la configuration.

Il peut être instancié plusieurs fois, à condition de lui donner un nom d'instance unique dans la configuration.

Un module de type manuel est implémenté selon une interface normalisée (**héritage de la classe FBSFBaseModel**) vis-à-vis du système exécutif qui lui permet de contrôler le cycle de vie du code :

- Phase initial : chargement des ressources du module (**doInit()**)
- Phase calcul : exécution du pas de calcul du module (**doStep()**)
- Phase terminale : libération des ressources (**doTerminate()**)

Un module manuel (ex : **ModuleA**) est une classe C++ déclarée et définie comme suit par son .h et son .cpp :

```
#ifndef ModuleA_H
#define ModuleA_H
#include <QtCore/qglobal.h>
#ifdef ModuleA_LIBRARY
# define ModuleA_SHARED_EXPORT Q_DECL_EXPORT
#else
# define ModuleA_SHARED_EXPORT Q_DECL_IMPORT
#endif
#include "FbsfBaseModel.h"
class ModuleA_SHARED_EXPORT ModuleA
: public FBSFBaseModel
{
public:
    ModuleA();
    Int    doInit();
    Int    doTerminate();
    Int    doStep();
    QMap<QString, ParamProperties> getParamList(){return mListParam;};

private :
    Int    member;
    QMap<QString, ParamProperties> mListParam;
};
extern "C" Q_DECL_EXPORT FBSFBaseModel* factory()
{
```



```
        return new ModuleA();  
    }  
#endif // ModuleA_H
```

Exemple de fichier de déclaration **ModuleA.h**

```
#include "ModuleA.h"  
// Constructor  
ModuleA::ModuleA()  
: FBSFBaseModel()  
, member(0)  
{  
}  
// Initialization step  
int ModuleA::doInit()  
{  
    // do initialization  
    return 1;  
}  
// Computation step  
int ModuleA::doStep()  
{  
    // do step computation  
    return 1;  
}  
// Finalization step  
int ModuleA::doTerminate()  
{  
    // do finalization  
    return 1;  
}
```

Exemple de fichier d'implémentation **ModuleA.cpp**

4.1.1 Gestion des Paramètres globaux du module (config xml)

Il est fortement conseillé d'utiliser la classe définie dans « **ParamProperties.h** » livrée par le framework au niveau de « **FbsfBaseModel** » :

```
enum class Param_quality: int  
{  
    cMandatory,  
    cOptional  
};  
enum class Param_type: int  
{  
    cStr,  
    cDbl,  
    cInt,  
    cBool,  
    cPath,  
    cDateAndTime,  
    cDateAndTimeUTC,  
    cEnumString,  
    cEnumInt  
};  
class ParamProperties  
{  
public:  
    ParamProperties()= default;
```



```
ParamProperties(const Param_quality aP_qual,
               const Param_type aP_type,
               const QString & aDescription,
               const QString & aUnit,
               const QVariant & aHint,
               const QVector<QVariant> & aEnumEntries = QVector<QVariant>(),
               const QVariant & aDefault = QVariant(),
               const QVariant & aMin_strict = QVariant(),
               const QVariant & aMax_strict = QVariant(),
               const QVariant & aMin_warn = QVariant(),
               const QVariant & aMax_warn = QVariant()
            ) :
    mP_qual(aP_qual),
    mP_type(aP_type),
    mDescription(aDescription),
    mUnit(aUnit),
    mHint(aHint),
    mEnumEntries(aEnumEntries),
    mDefault(aDefault),
    mMin_strict(aMin_strict),
    mMax_strict(aMax_strict),
    mMin_warn(aMin_warn),
    mMax_warn(aMax_warn)
{
}
Param_quality  mP_qual;
Param_type     mP_type;

/// A comment to describe the field
QString mDescription;

/// A unit for numeric types
QString mUnit;

/// Hint value (to guide user)
QVariant  mHint;

/// List of possible entries for enumerated types
QVector<QVariant> mEnumEntries;

/// Default value in case of optionnal parameter
QVariant  mDefault;

/// Bounding variants for ordered types
QVariant mMin_strict, mMax_strict;
QVariant mMin_warn, mMax_warn;
};
```

Il est possible de déclarer un « Prototype » que les paramètres (déclaré dans le fichier xml de la simulation) devront suivre. Pour ce faire il faut ajouter une variable mListParam du type QMap<QString, ParamProperties> (dans le .h du module) de cette manière :

```
QMap<QString, ParamProperties> mListParam =
{
    {"document", //le nom du paramètre (la key pour la QMap)
    ParamProperties{
```

```
Param_quality::cOptional, //le paramètre est il obligatoire ou non
Param_type::cStr, // le type du paramètre (string, int etc...)
"Path to the Document", // description du paramètre
"", // unité du paramètre (ex:cm, $, ...)
"ModuleTank/GraphicTank.qml", // un exemple de valeur possible
}, //list pour les enum type (optionnel et inutile ici)
"ModuleMetz/GraphicMetz.qml"} // valeur par default (pour les paramètres cOptional)
},

{"testint", // Autre exemple (du type int)
ParamProperties{Param_quality::cMandatory, Param_type::cInt, "un int", "", 12, // un exemple de valeur possible
}, "",
1, 20, // Limite basse et haute de la valeur (erreur critique) (optionnel)
5, 15 // Limite basse et haute de la valeur (affiche un warning) (optionnel)
}},

{"testenumstring", // Autre exemple (du type EnumString)
ParamProperties{Param_quality::cMandatory, Param_type::cEnumString, "enum string", "", "", {"OUI", "NON"}}}

}; // fin de la variable
```

Un code manuel est capable de récupérer des paramètres de configurations déclarés dans la section globale du fichier de configuration avec le code suivant :

```
MTimeStep=AppConfig()["timestep"].toFloat();
```

et ceux déclarés dans sa section <model> du fichier de configuration avec le code suivant :

```
Int Param1=config()["param1"].toInt();
```

4.1.2 Généralisation de la notion de paramètre de la norme FMI

La gestion des paramètres de la norme FMI établit la classification identifiée par le mot clé **variability** :

- Si **fixed** : le paramètre est constant, il n'est pas modifiable en cours de calcul. Sa valeur est déterminée et fixée lors de la conception du modèle. Un paramètre de type **fixed** est déclaré comme un **exporteur**.
- Si **tunable** : le paramètre est modifiable avant le lancement du calcul et en cours de calcul entre chaque pas de temps. Un paramètre de type **tunable** est déclaré comme un **importeur**.

Une classe intermédiaire "FBSFBaseModelFMI" implémente le parsing des fichiers de type « **modelDescription.xml** » et déclare les paramètres "**fixed**" et "**tunable**" du module manuel.

La classe FBSFBaseModel implémente une API pour déclarer ces paramètres (**fixed** et **tunable**).



exemple **ModuleFMI.h** :

```
class ModuleFMI_SHARED_EXPORT ModuleFMI
    : public FBSFBaseModeeFMI
example ModuleFMI.cpp :
int ModuleFMI::doInit()
{
    QString file=config ()["description"];
    return parseModelDescription(file);
}
int ModuleFMI::doStep()
{
    FmiVariable t1=parameter("Tunable.k");
    qDebug () << t1.name() << t1.value();
    FmiVariable c1=parameter("Constant.k");
    qDebug () << c1.name() << c1.value();*
    return FBSF_OK;
}
```

La configuration du module spécifie le nom du fichier de description :

```
<model version="1.0">
  <module>ModuleFMI</module>
  <type>manual</type>
  <name>ProducerFMI</name>
  <description>ModuleFMI/ProducerFMI.xml</description>
</model>
```

4.1.3 Api de connexion aux données publiques

Une donnée publique de la **ZE** est identifiée par un nom, une adresse locale, une unité et un commentaire.

Les données sont connectées par identité de nom. Pour connecter une donnée produite avec une donnée consommée, il faut publier la donnée produite sous le même nom que la donnée consommée déclarée par abonnement.

Les données publiques sont des scalaires ou vecteurs 1D de type informatique **integer** et **float** (32 bits).

Les vecteurs sont :

- Des vecteurs de données dont chaque élément se comporte comme un scalaire vis-à-vis du temps.
- Des vecteurs « **time-depend** » (applications d'optimisation). Ce type de vecteur permet de déclarer des séquences de valeurs temporelles avec une notion de passé et futur. La notion de décalage par pas « **timeshift** » est paramétrable ainsi que le pivot passé/futur (index).

Ce mode « **time-depend** » est activé par la publication d'un vecteur temps nommé « **Data.Time** » et la présence de la variable SimuMpc dans la section globale de la



configuration.



4.1.4 Abonnement à la ZE

Scalar int	<i>subscribe</i> (QString name, int *address,QString unit, QString comment);
Scalar float	<i>subscribe</i> (QString name, float *address,QString unit, QString comment);
Data vector int	<i>subscribe</i> (QString name, QVector<int>* vector, QString unit, QString comment);
Data vector float	<i>Subscribe</i> (QString name, QVector<float>* vector, QString unit, QString comment);
Time depend vector int	<i>subscribe</i> (QString name, QVector<int>* vector, QString unit, QString comment int timeShift, int index);
Time dépend vector float	<i>subscribe</i> (QString name, QVector<float>* vector, QString unit, QString comment int timeShift, int index);

Note :

Un vecteur déclaré en abonnement n'a pas de taille, il sera retaillé automatiquement selon la taille du vecteur publié.

4.1.5 Publication dans la ZE

Scalar int	<i>publish</i> (QString name, int *address,QString unit, QString comment);
Scalar float	<i>publish</i> (QString name, float *address,QString unit, QString comment);
Data vector int	<i>publish</i> (QString name, QVector<int>* vector, QString unit, QString comment);
Data vector float	<i>publish</i> (QString name, QVector<float>* vector, QString unit, QString comment);
Time depend vector int	<i>publish</i> (QString name, QVector<int>* vector, QString unit, QString comment int timeShift, int index);
Time dépend vector float	<i>publish</i> (QString name, QVector<float>* vector, QString unit, QString comment int timeShift, int index);



4.1.6 API de contrôle du système exécutif

La méthode suivante permet le contrôle par programmation des états et modes du système exécutif :

ExecutiveControl (« commande » [,«arg1»[,«arg2»]])

Avec l'argument « **commande** » de type **Qstring** pouvant prendre les valeurs présentées dans le tableau. L'argument optionnel est de type **Qstring**.

Commande	Arguments	Description
stop	SANS	Arrêt de la simulation avec écriture du fichier résultat
step	SANS	Exécution d'un cycle
pause	SANS	Pause de la simulation
run	N pas pause ou stop	Exécution des cycles de la simulation
speed	N pas pause ou stop	Exécution en mode accéléré
save	filename	Enregistre l'état de la simulation dans <filename>
restore	filename	Restitue l'état de la simulation depuis <filename>
record	filename	Enregistre l'historique de la simulation dans <filename>

4.1.7 Compilation d'un module manuel

La compilation du module nécessite l'utilisation de QtCreator avec un projet configuré de la sorte :

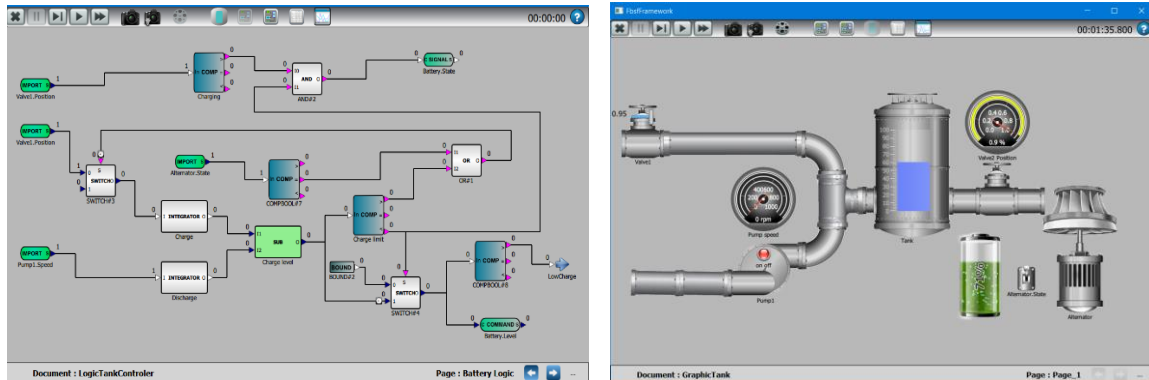
```
QT                -= gui
TARGET            = ModuleA
TEMPLATE          = lib
win32-msvc*       { LIBS    += $$ (FBSF_HOME)/lib/FbsfBaseModel.lib }
win32-g++         { LIBS    += $$ (FBSF_HOME)/lib/FbsfBaseModel.a }
INCLUDEPATH      += $$ (FBSF_HOME)/FbsfBaseModel
DEFINES           += ModuleA_LIBRARY
DESTDIR           = $$ (APP_HOME)/lib
```

Pour plus de détails voir chapitre 6.2.

4.2 Module de type Graphique et plugin Qml

Le framework propose un éditeur « **FbsfEditor** » pour réaliser les pages de Logiques et Graphiques, voir le manuel d'utilisation de l'éditeur « **FbsfEditor** ».

La copie d'écran ci-dessous présente des modèles de Logique et Graphique.



Pour les plugins d'interface graphique dits « Images à façon », ils sont développés en QML et se conforment à une structure normalisée.

Un fichier **main.qml** dans le dossier du plugin constitue le point d'entrée.

```
import QtQuick 2.0
Rectangle {
    // public properties
    property string path
    property string name: "moniIHM"
    property bool backtrackable: true

    // Graphic attributs
    anchors.fill: parent
    visible: true
    // plugin User Interface
    signal statusChanged(var mode, var state)
    //~~~~~
    onStatusChanged: moniIHM.statusChanged(mode,state);
    MoniIHM {id: moniIHM }
}
```

Il est implémenté comme le montre l'exemple suivant pour une IHM définie dans **moniIHM.qml**. Pour un exemple « d'images à façon » voire l'application « **DEMO-HOUSE** ».



4.2.1 Gestion des paramètres pour un modèle CAO de FbsfEditor

Un composant de modèle CAO déclare "**parameters**" pour tunable et "**constant**" pour fixed dans son code QML.

L'inspecteur d'objet présente les deux types avec le type constant en « readonly ».

```
property var parameters: {"p1" : 1, "p2" : true }  
property var constant: {"k1" : 111, "k2" : 222 }
```

Note : Les paramètres et constantes de type "string" ne sont pas concernés.

Options de la configuration :

```
<simulation version="1.0">  
.....  
    <publishparam>true</publishparam>  
    <snapshotparam>true</snapshotparam>
```

<publishparam> : Les paramètres «tunable», des modules CAO Logic, FbsfBaseModelFMI et FMU, apparaissent dans la liste du moniteur avec un code couleur. Ils sont modifiables depuis l'interface comme le sont les importeurs non résolus.

<snapshotparam> : Les paramètres «tunable » sont sauvegardés dans les clichés. Le format QML texte des documents CAO permet de modifier la valeur initiale d'un paramètre. Les mots clé **nodeParams** et **nodeConstants** identifient les listes de paramètres entre accolades selon la syntaxe : 'nom': valeur, 'nom': valeur,

4.2.2 Gestion de la ZE

Une donnée est déclarée par son nom et son type. Le nom est constitué du tag1 et optionnellement du tag2 qui produisent respectivement les identifiants publiques : «tag1» et «tag1:tag2»

4.2.3 Abonnement à la ZE

Connecter un scalaire déclaré comme une **property**

```
Property int myIntData:0  
SubscribeInt{tag1: "MyInt";tag2: "Data"; onValueChanged: { myIntData = value; } }  
Property real myRealData:0.0  
SubscribeReal{tag1: "MyReal";tag2: "Data"; onValueChanged: { myRealData = value; } }
```

Connecter un vecteur de données déclaré comme une **property** :

```
property var intVector:[]  
SubscribeVectorInt{ tag1: "MyIntVector"  
    onDataChanged: { intVector=data; txt1.text=tag1 + " : "+ intVector [0]} } //1er élément  
property var realVector:[]
```



```
SubscribeVectorReal{ tag1: "MyRealVector"  
    onDataChanged: { realVector=data; txt1.text=tag1 + " : "+ realVector [0]} } //1er élément
```

En mode « **time-depend** » :

```
MyVector.data[idx]           // élément du vecteur pas de temps courant (passé+futur)  
MyVector.timeshift           // Le facteur de décalage temporel  
MyVector.timeindex           // Index du temps courant dans le vecteur data[]  
MyVector.history[idx]        // Vecteur historique : lire la valeur historique d'index idx  
MyVector.history.length      // Npas * Timeshift valeurs
```

4.2.4 Publication vers la ZE

Une donnée publiée depuis le plugin graphique est généralement transmise de façon asynchrone.

Connecter un scalaire déclaré comme une **property**

```
property int mSatus: 0  
SignalInt{ id:deviceStatus;  
    tag1:"Device";tag2:"Status";  
    value: mSatus }  
property real mSignal: 0.6  
SignalReal{ id:valveControl1;  
    tag1:"Tank";tag2:"Control1";  
    value: mSignal1}
```

Connecter un vecteur de données déclaré comme une **property** :

```
SignalVectorInt{ id : sigVectorInt; tag1: "UI.VectorInt";  
    property int val:0;  
    property var vector:[0+val,1+val,2+val,3+val,4+val]// ou new Array(10)  
    data: vector }  
SignalVectorReal{  
    id : sigVectorReal;  
    tag1: "UI.VectorReal"  
    data:[0.1,1.2,3.4,4.5,5.6] }
```

La bibliothèque d'objets disponibles avec « **FbsfEditor** » est codée en QML pour les documents Logic et Graphic, elle obéit aux règles précédentes.



5. API DE CONTROLE

5.1 Concepts

L'API est basée sur la norme Fmi 2.0

L'API est codée en C++

5.2 Methodes

5.2.1 Gestion d'instance

```
fmi2Component fmi2Instantiate(int argc, char **argv);
```

Crée une instance de du fmiComponent nécessaire pour tous les autres appels à L'API.

```
fmi2Status fmi2FreeInstance(fmi2Component ptr);
```

Libère la mémoire allouée (ptr et buffers internes).

5.2.2 Paramétrage de la simulation

```
fmi2Status fmi2SetString(fmi2Component ptr, QString str);
```

Définis le nom du fichier de configuration pour la simulation.

```
fmi2Status fmi2EnterInitialisationMode(fmi2Component ptr);
```

Met l'app en mode Initialisation

Charge la configuration indiquée via fmiSetString.

```
fmi2Status fmi2ExitInitialisationMode(fmi2Component ptr);
```

Sort l'app du mode initialisation et lance l'app fbsf.

5.2.3 Contrôle de simulation

```
fmi2Status fmi2DoStep(fmi2Component ptr);
```

Lance un pas de calcul asynchrone.

```
fmi2Status fmi2CancelStep(fmi2Component ptr);
```

Non codé



```
fmi2Status fmi2Terminate(fmi2Component ptr);
```

Informe l'app Fbsf que la simulation est terminée et qu'elle doit quitter.

5.2.4 Acquisition de l'état de la simulation

Les fonctions d'état prennent 3 arguments :

- Le pointeur sur le fmi2Component
- Un fmi2StatusKind qui indique quel état est demandé
- Un pointeur sur une variable qui contiendra l'état

La fonction appelée doit correspondre au type de retour associé au fmi2StatusKind sinon la fonction n'a aucun effet (fmi2PendingStatus doit être appelé avec la fonction fmi2GetStringStatus car fmi2PendingStatus retourne un état de type fmi2String)

```
fmi2Status fmi2GetStatus(fmi2Component ptr, const fmi2StatusKind s, fmi2Status *value);
```

Requiert un état de type fmi2Status (compatible avec fmi2StatusKind::fmi2DoStepStatus)

```
fmi2Status fmi2GetRealStatus(fmi2Component ptr, const fmi2StatusKind s, fmi2Real *value);
```

Requiert un état de type fmi2Real (compatible avec fmi2StatusKind::fmi2LastSuccessfulTime)

```
fmi2Status fmi2GetIntegerStatus(fmi2Component ptr, const fmi2StatusKind s, fmi2Integer *value);
```

Requiert un état de type fmi2Integer (compatible avec aucun fmi2StatusKind)

```
fmi2Status fmi2GetBooleanStatus(fmi2Component ptr, const fmi2StatusKind s, fmi2Boolean *value);
```

Requiert un état de type fmi2Boolean (compatible avec fmi2StatusKind::fmi2Terminated)

```
fmi2Status fmi2GetStringStatus(fmi2Component ptr, const fmi2StatusKind s, fmi2String *value);
```

Requiert un état de type fmi2String (compatible avec fmi2StatusKind::fmi2PendingStatus)

Attention : en accord avec la norme fmi2, il est de la responsabilité de l'utilisateur de copier le contenu de la variable 'value' après retour de la fonction pour toute utilisation future.

La zone mémoire pointée est un buffer interne à l'api qui peut être réutilisé et écrasé par n'importe quel futur appel à l'api et n'est donc pas sûr d'utilisation.



5.3 Compilation

L'api est compilée dans le même dossier que fbsfFramework (aka : lib/release|debug|batch)

Voici un exemple de .pro permettant de compiler une app c++ avec l'api

```
TEMPLATE=app
LIBS += -L$(FBSF_HOME)/lib/release -lFbsfApi

INCLUDEPATH += $(FBSF_HOME)/FbsfFramework/FbsfApi
SOURCES += testapi.cpp
HEADERS += testapi.h
```



6. ANNEXES

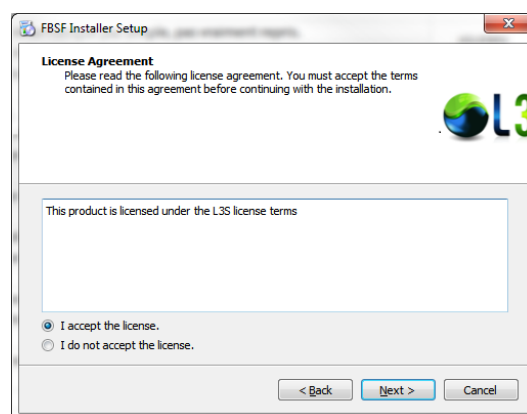
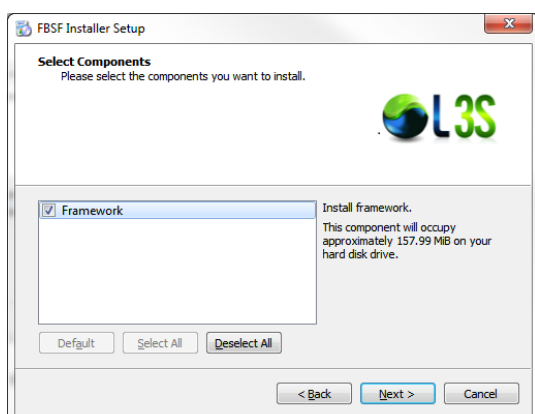
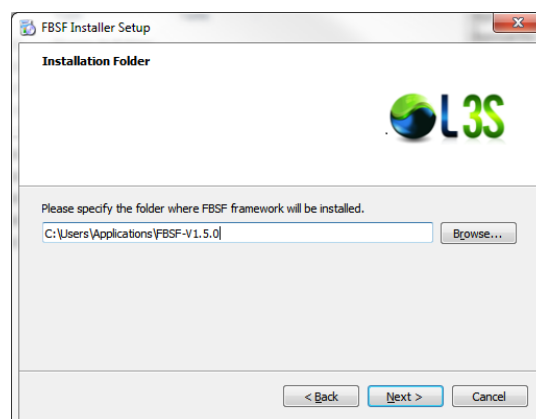
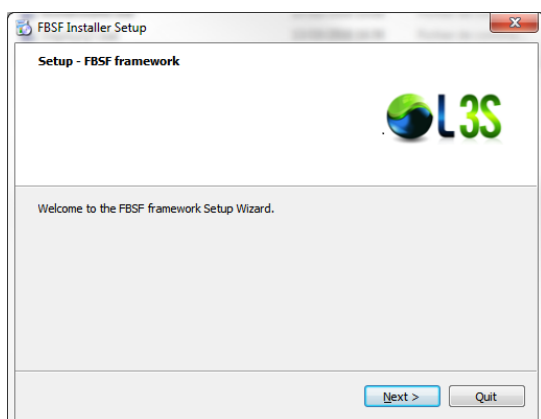
6.1 Installation du Framework

6.1.1 Prérequis

OS	Windows 10 et +, Linux
Qt	5.15 et +
Compilateur	MSVC 2015 et + ou GCC 4.2 et +
Fichier de licences	Contacteur L3S

6.1.2 Procédure d'installation

Le Framework est installé sur un espace disque local et son contenu est déposé sous forme de binaires en suivant les instructions de l'installateur.



Pour exécuter une application sous FBSF, il faut disposer d'un fichier de licence « **FbsfFramework.lic** » déposé à la racine de l'installation FBSF.

6.1.3 Principes généraux d'organisation

Les espace Framework et Application sont définis par les variables d'environnement :

FBSF_HOME : racine installation du Framework,

APP_HOME : racine installation de l'applicatif (plugins, binaires).

Répertoire d'exécution : production/consommation des données runtime (config xml, log, data files, jeu, clics, ...).

6.2 Développement de modèles

Pour développer des modèles, il est nécessaire d'installer la version QT préconisée avec le QtCreator.

IDE pour développement	QtCreator	Version 5.15 et +
Compilateur	Visual C++	MSDEV 2015 et +
	GCC	4.2 et +

Pour positionner l'environnement FBSF dans QtCreator, il faut définir un script projet qui définit les chemins d'accès à QT et QTcreator.

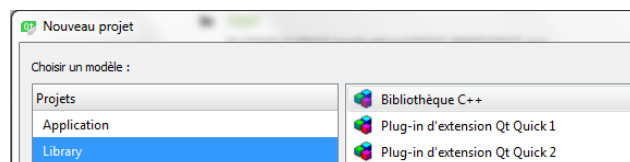
Exemple de fichier production.bat pour Windows :

```
set QTDIR      =<path to QT>
set QTPATH     =%QTDIR%\5.7\msvc2013_64\bin;%QTDIR%\Tools\QtCreator\bin
set PATH       =%~dp0lib;%QTPATH%;%PATH%
call          <path to FBSF>\fbsfenv.bat
set APP_HOME   =%~dp0
start          qtcreator.exe
exit
```

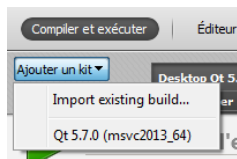
Les développements des modules applicatifs sont réalisés avec l'environnement projet de QtCreator. Ce chapitre présente les étapes de configuration du projet sous QtCreator.

Pour créer un module manuel applicatif, Il faut :

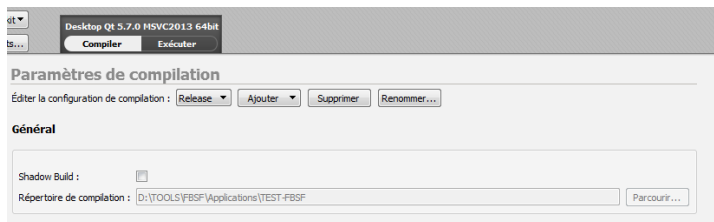
- Créer un nouveau projet QtCreator de type librairie C++



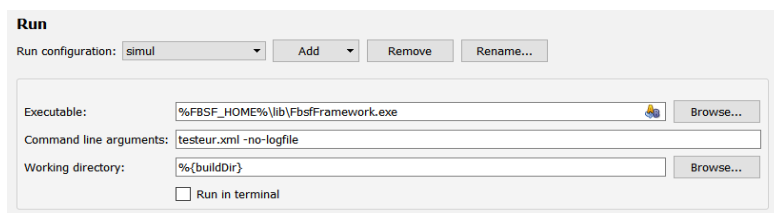
- Indiquer le nom du type du module (ex : ModuleA)
- Choisir le kit de production : par ex. Desktop QT 5.15 MSVC 2015 64 bits



- Il est important de configurer le projet sans "shadow build",




- Définir la configuration d'exécution référencer l'exécutable FbsfFramework livré, les arguments de la ligne de commande et le répertoire d'exécution



- Compléter le fichier .pro qui doit définir à minima les variables suivantes :

```
QT                -= gui
TARGET            = ModuleA
TEMPLATE          = lib
win32-msvc*       { LIBS += $$ (FBSF_HOME)/lib/FbsfBaseModel.lib }
win32-g++          { LIBS += $$ (FBSF_HOME)/lib/FbsfBaseModel.a }
INCLUDEPATH       += $$ (FBSF_HOME)/FbsfBaseModel
DEFINES           += ModuleA_LIBRARY
DESTDIR           = $$ (APP_HOME)/lib
```

Pour exécuter l'application sous « **QtCreator** » utiliser le bouton de lancement. 

Environnement d'exécution hors « **QtCreator** » afin de séparer les environnements de développements, il est recommandé de produire un script lié au projet applicatif qui sera exécuté pour lancer l'environnement.

Le script de la partie projet exécute le script « *FbsfEnv.bat* » de FBSF et positionne l'environnement propre au projet puis positionne les variables propres au projet :

- Ajout du chemin des binaires (.dll ou .so) dans le PATH ou LD_LIBRARY_PATH
- Ajout de la racine du code applicatif projet dans la variable APP_HOME

Les fichiers log et fichiers produits par l'application sont produits depuis le dossier



d'exécution.

Exemple d'un fichier runtime.bat dans un environnement OS Windows :

```
set QTDIR      = <path to QT>
set QTPATH     = %QTDIR%\5.7\msvc2013_64\bin;%QTDIR%\Tools\QtCreator\bin
set PATH       = %~dp0lib;%QTPATH%;%PATH%
call          <FBSF rootpath>\FbsfEnv.bat
set APP_HOME   = %~dp0
if not "%1"    == "" start FbsfFramework.exe %1
```

Le fichier FbsfEnv.bat du Framework FBSF, intégré à l'installation, positionne l'environnement minimal nécessaire au système exécutif.

```
set FBSF_HOME  =%~dp0
set PATH       =%FBSF_HOME%\lib;%FBSF_HOME%\FbsfFramework\fbfplugins
```

Il est ainsi possible de créer un raccourci sur le bureau pour lancer l'exécution de l'application.

L'argument fourni au fichier .bat est le nom du fichier xml de configuration de l'application.

```
<chemin de l'application>\runtime.bat config.xml
```

Arguments en mode simulation" : **FbsfFramework.exe config.xml**

Arguments en mode rejou : **FbsfFramework.exe config.xml -r[eplay] file.dat**

Arguments en mode batch : **FbsfFramework.exe config.xml -b[atc]**