

Modélisation Transactionnelle des Systèmes sur Puces en SystemC Ensimag 3A — filière SLE Grenoble-INP Modélisation TLM en SystemC

Matthieu Moy
(transparents originaux de Jérôme Cornet)

Matthieu.Moy@imag.fr

2016-2017



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2016-2017

< 1 / 60 >

Planning approximatif des séances

- 1 Introduction : les systèmes sur puce
- 2 Introduction : modélisation au niveau transactionnel (TLM)
- 3 Introduction au C++
- 4 Présentation de SystemC, éléments de base
- 5 Communications haut-niveau en SystemC
- 6 **Modélisation TLM en SystemC**
- 7 TP1 : Première plateforme SystemC/TLM
- 8 Utilisations des plateformes TLM
- 9 TP2 (1/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 10 TP2 (2/2) : Utilisation de modules existants (affichage)
- 11 Notions Avancé en SystemC/TLM
- 12 TP3 (1/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 13 TP3 (2/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 14 TP3 (3/3) : Intégration du logiciel embarqué
- 15 05/01 : Intervenant extérieur : Jérôme Cornet (STMicroelectronics)
- 16 Perspectives et conclusion

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2016-2017

< 2 / 60 >

Sommaire

- 1 Le but ...
- 2 Dernières notions de SystemC
- 3 **Bibliothèque TLM 2.0**

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2016-2017

< 3 / 60 >

Ce qu'on veut pouvoir écrire

Côté initiateur

```
ensitlm::data_t val = 1;
ensitlm::addr_t addr = 2;
while (true) {
    cout << "Entrer x : " << endl;
    cin >> val;
    socket.write(addr, val);
}
```

Côté cible

```
tlm_response_status
write(const ensitlm::addr_t &a,
      const ensitlm::data_t &d) {
    cout << "j'ai reçu : "
          << d << endl;
    return TLM_OK_RESPONSE;
}
```

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

Modélisation TLM

2016-2017

< 5 / 60 >

Rappel

- **Port** : expose une **interface** à un point de connexion
- **Canal** : **implémente** les différentes interfaces requises pour réaliser la communication
- Utilisation dans les modules : appels de méthodes sur les ports à travers l'opérateur « -> » redéfini
- Appel de méthode par le port dans un module ⇒ appel de la même méthode dans le canal auquel est relié le port

Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

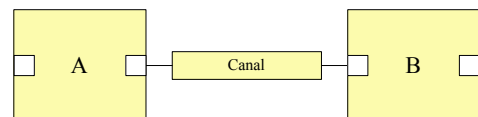
Modélisation TLM

2016-2017

< 7 / 60 >

Problème : exposé

- Assemblage d'origine



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

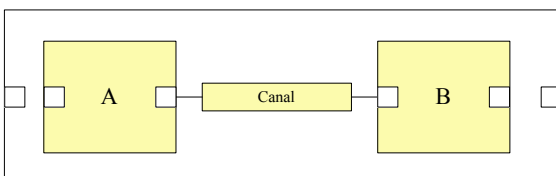
Modélisation TLM

2016-2017

< 8 / 60 >

Problème : exposé

- Intégration en un seul composant ?



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

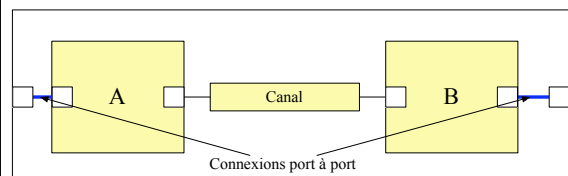
Modélisation TLM

2016-2017

< 9 / 60 >

Problème : exposé

- Connexions port à port



Matthieu Moy (Matthieu.Moy@imag.fr)

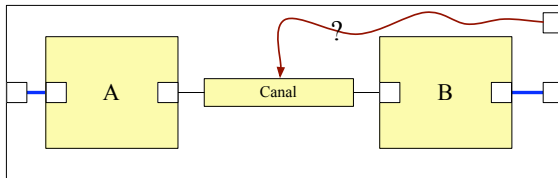
Modélisation TLM

2016-2017

< 10 / 60 >

Problème : exposé

- Cas problématique :

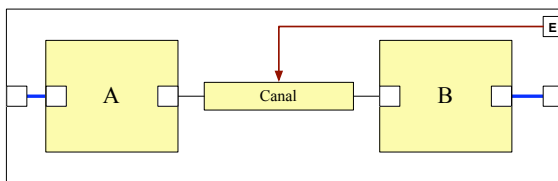


Export : la classe `sc_export`

- Élément (similaire à un port) :
 - ▶ exposant une interface à un point de connexion
 - ▶ connecté à un objet, auquel il transmet les appels de méthodes
- En pratique :
 - ▶ Objet de la classe `sc_export`
 - ▶ Généricité sur l'interface (comme `sc_port`)
 - ▶ Nécessité de connexion explicite dans le code à l'objet récepteur des appels de méthodes

Export : exemple (1/2)

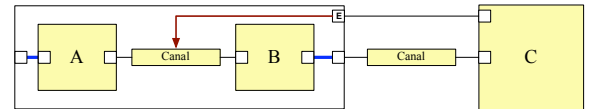
- Sur l'exemple précédent :



- `E->methode()` \Leftrightarrow `canal->methode()`

Export : exemple (2/2)

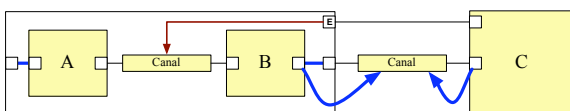
- Intégration du composant créé :



- C peut appeler directement les méthodes du canal.

Retour sur les appels effectués (1/2)

- Appels sur ports (\rightarrow) :



Retour sur les appels effectués (2/2)

- Appels sur ports et exports (\rightarrow) :

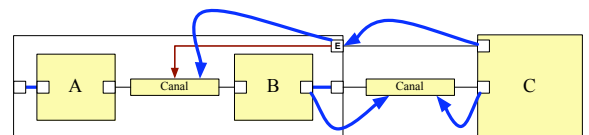
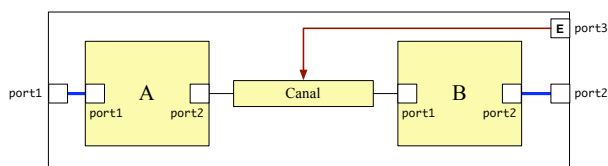


Schéma du module à créer



Exemple (déclaration)

Cf. code/exports/

Exemple (déclaration)

```
SC_MODULE (AetB)
{
    // ports et exports
    sc_port<my_interface> port1, port2;
    sc_export<my_interface> port3;

    // Constructeur
    SC_CTOR (AetB);

    // Objets internes
    A          a;
    B          b;
    Canal      canal;
}
```

Exemple (constructeur)

```
AetB::AetB(sc_module_name name)
: sc_module(name),
  a(sc_gen_unique_name("A")),
  b(sc_gen_unique_name("B")),
  canal(sc_gen_unique_name("canal"))
{
    // connexions internes
    a.port2(canal);
    b.port1(canal);

    // connexions port a port vers l'exterieur
    a.port1(port1);
    b.port2(port2);

    // connexion de l'export
    port3.bind(canal);
}
```

Exemple (sc_main)

```
int sc_main(int, char**)
{
    AetB          aetb("AetB");
    C             c("C");
    QuickChannel  q1("q1"), q2("q2"), q3("q3");

    aetb.port1.bind(q1);
    c.port1.bind(q1);

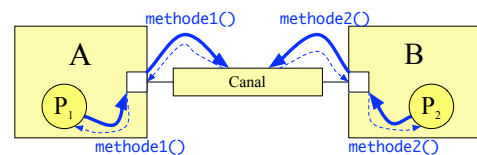
    aetb.port2.bind(q2);
    c.port2.bind(q2);

    c.port3.bind(aetb.port3);

    sc_start(); return 0;
}
```

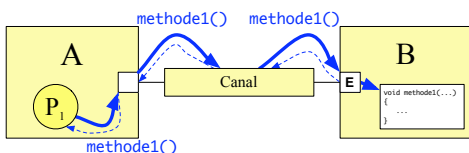
Communications vues jusqu'ici

- Chaque module est « actif »



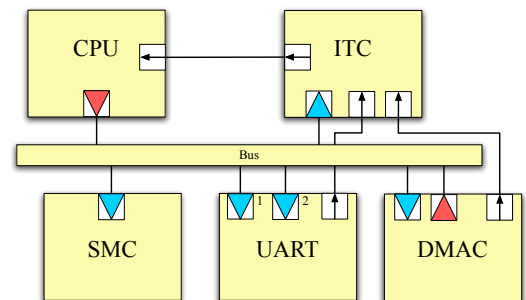
Communications TLM

- Modules actifs, passifs, actifs/passifs



- A peut appeler directement des méthodes de B

Ce que l'on souhaite modéliser



Pourquoi standardiser TLM 2

- Historique :
 - ▶ **SystemC 2.0** : notion de `sc_interface`. Chaque entreprise peut coder ses canaux de communications.
 - ★ **Problème** : Un composant écrit avec le protocole de l'entreprise X ne peut pas se connecter sur le canal de l'entreprise Y!
 - ★ Difficulté à intégrer des composants venant d'entreprise extérieures,
 - ★ Contournements avec des adaptateurs (lents, pas toujours possibles)
 - ▶ **TLM-1.0** : un pas vers l'interopérabilité
 - ★ Définition d'une interface (template)
 - ★ Mais rien sur le contenu des transactions
 - ★ ⇒ seulement une petite partie d'un vrai protocole standardisé!
 - ▶ **TLM-2.0** : l'interopérabilité se rapproche ...
 - ★ Contenu des transactions défini

Architecture de la bibliothèque

- Généricité
- Couche Transport
 - ▶ Mécanismes génériques de transmission des transactions
 - ▶ Permet de modéliser n'importe quel protocole de bus
 - ▶ **Standardisée**
- Couche Protocole
 - ▶ Contenu des transaction standardisé (`tlm::tlm_generic_payload`)
 - ▶ Comportement
 - ▶ "Interfaces de convenances" pour rendre le code plus concis.
 - ▶ Étude d'un exemple : protocole **EnsiTlm**
- Couche Utilisateur
 - ▶ Ce que le programmeur doit mettre dans ses modules...

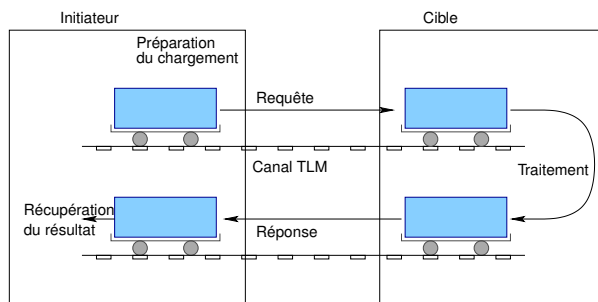
Interfaces de convenances

- Problème : mettre tout le monde d'accord sur l'API utilisateur est
 - ▶ **Difficile** (déjà des années de discussions entre vendeurs pour arriver à TLM-2)
 - ▶ **Pas très utile** : L'important est de pouvoir connecter un composant écrit par X à un canal écrit par Y, pas le code écrit à l'intérieur de Y.
- ⇒ TLM-2 définit une API générique mais très verbeuse
- Chaque entreprise peut écrire une API qui lui convient.

Notre interface de convenance : Enstiltm

- Faite maison ! (Giovanni Funchal)
- Objectifs :
 - ▶ simplicité du code (⇒ allez voir comment c'est fait !)
 - ▶ simplicité d'utilisation (vous me remercirez bientôt ;-))
- Beaucoup de limitations, mais suffisante pour les TPs.

Chemin d'une transaction : l'idée ...



Des tonnes de variantes

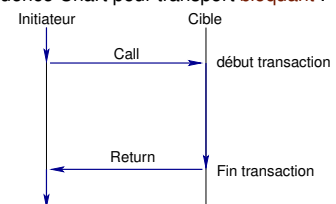
- 1 appel de fonction, ou plusieurs phases successives
- Connexion point à point, ou via un canal
- Communication de valeurs ou d'un bloc de valeurs
- Possibilité de rendre la main ou pas
- ...

Couche transport (1/4)

- Interface pour transactions bloquantes
 - ▶ Toute la transaction doit se faire en un appel de fonction
 - ▶ Interface `tlm_blocking_transport_if<TRANS>`
- ```
template <typename TRANS = tlm_generic_payload>
struct tlm_blocking_transport_if :
 virtual sc_core::sc_interface {
 virtual void b_transport(TRANS& trans,
 sc_core::sc_time& t) = 0;
};
```
- ▶ Communication initiateur/cible :
    - ★ initiateur → cible : transaction passée en argument  
→ **Call path**
    - ★ cible → initiateur : même transaction (passée par référence)  
→ **Return path**
  - ▶ (Pour l'instant, on ignore le deuxième argument de `b_transport`)

## Couche transport (2/4)

- Message Sequence Chart pour transport **bloquant** :



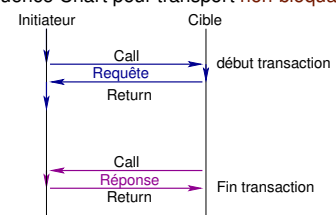
## Couche transport (3/4)

- Interface pour transactions non-bloquantes
    - ▶ L'initiateur fait un appel de fonction : requête
    - ▶ La cible fait un appel de fonction dans l'autre sens : réponse
- ```
// Forward path
template <typename TRANS = tlm_generic_payload,
          typename PHASE = tlm_phase>
struct tlm_fw_nonblocking_transport_if :
    virtual sc_core::sc_interface {
    virtual tlm_sync_enum nb_transport_fw(
        TRANS& trans, PHASE& phase, sc_time& t) = 0;
};

// Backward path
template <typename TRANS = tlm_generic_payload,
          typename PHASE = tlm_phase>
struct tlm_bw_nonblocking_transport_if :
    virtual sc_core::sc_interface {
    virtual tlm_sync_enum nb_transport_bw(
        TRANS& trans, PHASE& phase, sc_time& t) = 0;
};
```

Couche transport (4/4)

- Message Sequence Chart pour transport **non-bloquant** :



Interface des composants

- Un composant TLM **initiateur** peut :
 - ▶ Lancer une transaction bloquante
i.e. **appeler** `b_transport`
 - ▶ Lancer une transaction non-bloquante
i.e. **appeler** `nb_transport_fw`
 - ▶ Recevoir une réponse de transaction non-bloquante
i.e. **exposer une fonction** `nb_transport_bw`
- Un composant TLM **cible** peut :
 - ▶ Recevoir une transaction bloquante
i.e. **exposer une fonction** `b_transport`
 - ▶ Recevoir une requête de transaction non-bloquante
i.e. **exposer une fonction** `nb_transport_fw`
 - ▶ Envoyer une réponse à une transaction non-bloquante
i.e. **appeler** `nb_transport_bw`

Exporter/appeler une fonction (1/2)

Question



Comment un module expose-t-il une fonction aux autres objets ?

- **sc_export !**

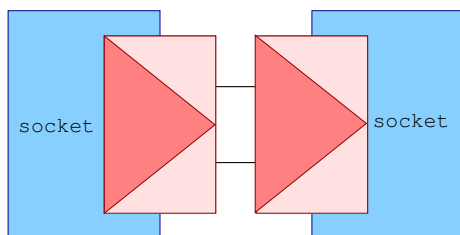
Question



Comment un module appelle-t-il une fonction d'un autre objet ?

- **sc_port !**

Exporter/appeler une fonction (1/2)



⇒ en TLM-2, on n'utilise plus que des sockets
(mais il y a quand même des ports et exports sous le capot)

Sockets et TLM-2

- Beaucoup de types de sockets différents.
- On va utiliser `tlm::tlm_initiator_socket /`
`tlm::tlm_target_socket` et en dériver
`ensitlm::initiator_socket /`
`ensitlm::target_socket`.

Communication entre N composants

- Jusqu'ici, on n'a fait que du point à point ...

Question



Que manque-t-il ?

- Connexion N initiateurs vers M cible.
- Routage (choisir à quelle cible on parle) → `addressmap`.

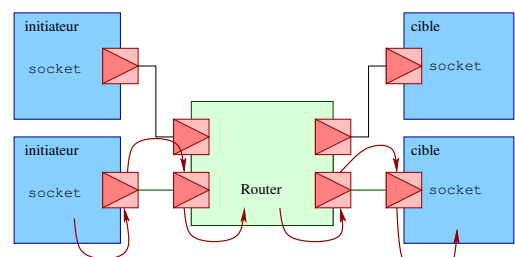
Question



Comment faire ?

Modéliser l'interconnexion

- On ajoute un composant pour modéliser le bus.
- Une solution (pas exactement celle de Ensitlm) :



Ce qu'on veut pouvoir écrire

Côté initiateur

```
ensitlm::data_t val = 1;
ensitlm::addr_t addr = 2;
while (true) {
    cout << "Entrer x : " << endl;
    cin >> val;
    socket.write(addr, val);
}
```

Côté cible

```
tlm_response_status
write(const ensitlm::addr_t &a,
      const ensitlm::data_t &d) {
    cout << "j'ai reçu : "
          << d << endl;
    return TLM_OK_RESPONSE;
}
```

Notre interface de convenance : Ensitlm

- Faite maison ! (Giovanni Funchal)
- Objectifs :
 - ▶ simplicité du code (⇒ allez voir comment c'est fait !)
 - ▶ simplicité d'utilisation (vous me remercerez bientôt ;-))
- Beaucoup de limitations, mais suffisante pour les TPs.

Ensitlm : limitations

- Protocole bloquant seulement
(On ne s'embête pas avec le "backward path")
- Pas de généricité :
 - adresses : `typedef uint32_t addr_t;`
 - données : `typedef uint32_t data_t;`
- Pas de byte-enable,
- Pas de transaction par bloc,
- Seulement deux commandes : read/write,
- Peu d'optimisations de performances possibles.

Ensitlm : principe

- `ensitlm/initiator_socket.h` : pour ne pas avoir à construire explicitement une `tlm_generic_payload`.
- `ensitlm/target_socket.h` : pour ne pas avoir à écrire une méthode `b_transport`, mais juste `read` et `write`.
- `bus.h` : une classe `Bus`.

Pour utiliser Ensitlm

```
/* pour utiliser les sockets */
#include "ensitlm.h"
```

Exemples de code

- `code/ensitlm-mini` : exemple minimaliste, un seul fichier (pas très propre, mais pratique pour avoir une vue d'ensemble).
- `code/ensitlm-mini-multi` : le même exemple, avec un découpage 1 classe = 1 fichier `.h` + 1 fichier `.cpp`.

ensitlm_initiator_socket.h (1/4)

- Le code : déclaration

```
namespace ensitlm {

    template <typename MODULE,
              bool MULTIPORT = false>
    class initiator_socket :
    public tlm::tlm_initiator_socket
    {
    public:
        initiator_socket(
            <CHAR_BIT * sizeof(data_t),
            tlm::tlm_base_protocol_types,
            MULTIPORT?0:1>,
            private tlm::tlm_bw_transport_if
            <tlm::tlm_base_protocol_types>
        { ... }
    };
```

ensitlm_initiator_socket.h (2/4)

- Le code : API

```
[...]
class initiator_socket : [...] {
    initiator_socket();
    explicit initiator_socket(const char* name);

    tlm::tlm_response_status
    read(const addr_t& addr, data_t& data,
         int port = 0);

    tlm::tlm_response_status
    write(const addr_t& addr, data_t data,
          int port = 0);
};
```

initiator_socket.h (3/4)

- Utilisation :

```
#include "ensitlm.h"

struct Foo : sc_core::sc_module
{
    ensitlm::initiator_socket<Foo> socket;
    SC_CTOR(Foo);
    void compute() {
        // ...
        status = socket.write(i, data);
        if (status != tlm::TLM_OK_RESPONSE) ...;
        // ...
    }
};
```

ensitlm_initiator_socket.h (4/4)

- Ce que vous économisez à chaque read/write :

```
tlm::tlm_response_status read(const addr_t& addr,
                              data_t& data, int port = 0) {
    tlm::tlm_generic_payload* trans;
    if (!container.empty()) {
        trans = container.back();
        container.pop_back();
    } else {
        trans = new tlm::tlm_generic_payload();
    }
    trans->set_command(tlm::TLM_READ_COMMAND);
    trans->set_address(addr);
    trans->set_data_ptr
        (reinterpret_cast<unsigned char*>(&data));
    trans->set_data_length(sizeof(data_t));
    trans->set_streaming_width(sizeof(data_t));
    (*this)[port]->b_transport(*trans, time);
    container.push_back(trans);
    return trans->get_response_status();
}
```

ensitlm_target_socket.h (1/4)

- Le code : déclaration

```
namespace ensitlm {

    template <typename MODULE,
              bool MULTIPORT = false>
    class target_socket :
    public tlm::tlm_target_socket
    {
    public:
        tlm::tlm_target_socket(
            <CHAR_BIT * sizeof(data_t)>,
            tlm::tlm_base_protocol_types,
            MULTIPORT:0?1>,
            public tlm::tlm_fw_transport_if
            <tlm::tlm_base_protocol_types>
        { ... };
    };
};
```

ensitlm_target_socket.h (2/5)

- La fonction b_transport :

- C'est la fonction appelée par l'initiateur (le bus)
- Appelle des fonctions read et write sur le module englobant
- ⇒ l'utilisateur devra définir les fonctions read et write.

ensitlm_target_socket.h (3/5)

- Le code : la fonction b_transport

```
void b_transport(tlm::tlm_generic_payload& trans,
                sc_core::sc_time& t) {
    addr_t addr = static_cast<addr_t>(trans.get_address());
    data_t& data = *(reinterpret_cast<data_t*>
                    (trans.get_data_ptr()));
    switch(trans.get_command()) {
    case tlm::TLM_READ_COMMAND:
        trans.set_response_status(m_mod->read(addr, data));
        break;
    case tlm::TLM_WRITE_COMMAND:
        trans.set_response_status(m_mod->write(addr, data));
        break;
    case tlm::TLM_IGNORE_COMMAND:
        break;
    default:
        trans.set_response_status
            (tlm::TLM_COMMAND_ERROR_RESPONSE);
    }
}
```

ensitlm_target_socket.h (4/5)

- Utilisation : implémenter read/write

```
#include "ensitlm_target_socket.h"
struct target : sc_module {
    ensitlm::target_socket<target> socket;
    tlm::tlm_response_status write(const ensitlm::addr_t &a,
                                   const ensitlm::data_t &d) {
        cout << "j'ai reçu : " << d << endl;
        return tlm::TLM_OK_RESPONSE;
    }
    tlm::tlm_response_status read (const ensitlm::addr_t &a,
                                   ensitlm::data_t &d) {
        // [...]
    }
};
```

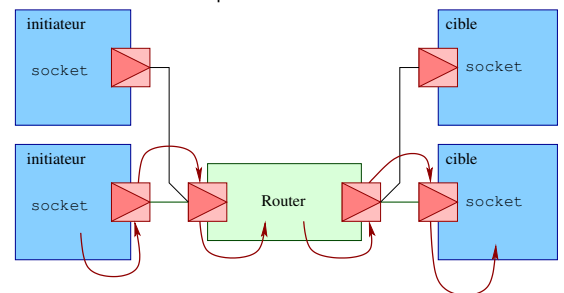
ensitlm_target_socket.h (5/5)

- Pour implémenter read/write :

- Doivent avoir **exactement** le même type que read/write de la classe de base (copier/coller ...)
- Reçoivent des adresses relatives au début de bloc (i.e. une écriture à l'adresse 142 sur un module « mappé » sur l'intervalle [100, 200] donne une adresse 42 côté cible)
- read peut modifier la donnée, write ne peut pas.

ensitlm_router.h (1/3)

- Utilise des sockets "multiport" :



bus.h (2/3)

- Le code :

```
SC_MODULE (Bus) {
    // Parametre 'true' pour connection multiport
    // (Specifite du bus)
    ensitlm::initiator_socket<Bus, true> initiator;
    ensitlm::target_socket<Bus, true> target;

    Bus(sc_core::sc_module_name name);

    tlm::tlm_response_status
        read(ensitlm::addr_t a, ensitlm::data_t& d);
    tlm::tlm_response_status
        write(ensitlm::addr_t a, ensitlm::data_t& d);
    void map(ensitlm::compatible_socket& port,
            ensitlm::addr_t start_addr, ensitlm::addr_t size);
    // ...
};
```

- Un module (presque) comme les autres.

bus.h (3/3)

- Utilisation :

```
int sc_main(int, char**)
{
    Generator    generator1("Generator1");
    Memory       memory("Memory", 100);
    Bus          router("router");

    generator1.socket.bind(router.target);
    router.initiator.bind(memory.target);

    // address map
    //      target port | address | size
    router.map(memory.target, 0, 100);

    sc_core::sc_start(); return 0;
}
```

Conclusion

- TLM-2 :
 - Interfaces standardisées,
 - Contenu de transaction standardisée,
 - Comportement des bus laissés à l'utilisateur.
- Protocole Ensitlm : ce que l'on va utiliser en TP
 - Plus concis que TLM-2 « brut »
 - Router avec addressmap
- Et les interruptions ?
 - Plusieurs solutions...
 - Utilisation de `sc_in`, `sc_out`, etc. pas parfaite mais raisonnable.