

Modélisation Transactionnelle des Systèmes sur Puce avec SystemC

Phelma 3A — filière SEOC

Grenoble-INP

Communications haut-niveau

Frédéric Pétrot

frederic.petrot@univ-grenoble-alpes.fr

2022-2023



Planning des séances

- 05/12/22 (FP) CM1 Introduction : systèmes sur puce et modélisation au niveau transactionnel
- 14/12/22 (FP) CM2 Introduction au C++ et présentation de SystemC
- 14/12/22 (FP) CM3 Communications haut-niveau et modélisation TLM en SystemC
- 04/01/23 (FP) CM4 Utilisations des plateformes TLM et Notions Avancées en SystemC/TLM
- 04/01/23 (FP) TP1 (1/1) : Plateforme matérielle SystemC/TLM
- 09/01/23 (OM) CM5 Synthèse d'architecture
- 09/01/23 (OM) TP3 (1/2) : Synthèse de haut niveau et génération de circuits numériques
- 09/01/23 (OM) TP4 (2/2) : Synthèse de haut niveau et génération de circuits numériques
- 16/01/23 (FP) CM6 Intervenant extérieur : Jérôme Cornet (STMicroelectronics)
- 18/01/23 (FP) TP2 (1/2) : Intégration du logiciel embarqué
- 28/01/23 (FP) TP2 (2/2) : Intégration du logiciel embarqué

Sommaire

- 1 (Ré)visions de C++ : épisode 2
- 2 SystemC : Communications haut-niveau

Sommaire

- 1 (Ré)visions de C++ : épisode 2
- 2 SystemC : Communications haut-niveau

Sommaire de cette section

1 (Ré)visions de C++ : épisode 2

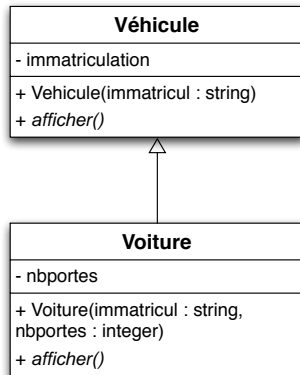
- Méthodes virtuelles
- Héritage multiple
- Héritage virtuel

Méthodes virtuelles

- Définition : fonctions que l'on peut ré-implémenter dans une classe fille, avec liaison dynamique

- cf. `code/heritage/`

- Exemple :



Méthodes virtuelles

- Définition : fonctions que l'on peut ré-implémenter dans une classe fille, avec liaison dynamique

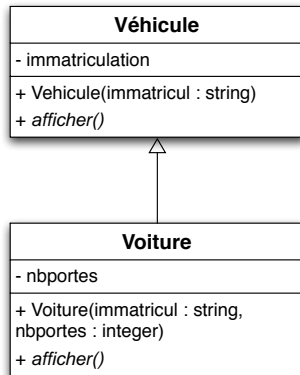
Question



Quel est l'équivalent en Java ?

- cf. `code/heritage/`

- Exemple :



Exemple (déclaration de classe de base)

```
class Vehicule
{
    public:
        Vehicule(const string & immatricul);

        // fonction virtuelle
        virtual void afficher();

    private:
        string immatriculation;
};
```


Exemple (implémentation)

```
Vehicule::Vehicule(const string & immatricul)
{
    immatriculation = immatricul;
}

void Vehicule::afficher()
{
    cout << "Immatriculation : " << immatriculation
        << endl;
}
```

Exemple (déclaration de classe dérivée)

```
class Voiture : public Vehicule
{
    public:
        Voiture(const string & immatricul,
                int nombredeportes);

        // fonction virtuelle
        virtual void afficher();

    private:
        int nbportes;
};
```

Exemple (implémentation)

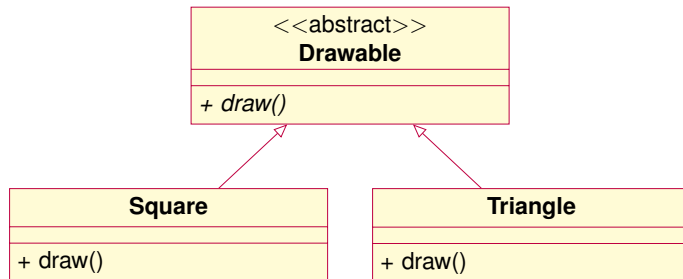
```
Voiture::Voiture(const string & immatricul,
                 int nombredeportes)
    : Vehicule(immatricul)
{
    // suite des initialisations
    nbportes = nombredeportes;
}

void Voiture::afficher()
{
    // appel de la fonction virtuelle de la classe mere
    Vehicule::afficher();

    cout << "Nb de portes : " << nbportes << endl;
}
```

Méthodes virtuelles pures

- Définition : méthodes virtuelles pour lesquelles
 - ▶ On ne donne pas d'implémentation dans la classe mère,
 - ▶ On **force** l'implémentation dans les classes filles.
- Exemple :



- Une classe contenant une méthode virtuelle pure est abstraite

Exemple (déclaration)

```
class Drawable
{
    public:
        ...

        // methode virtuelle pure
        // pas d'implementation associee dans le .cpp
        virtual void draw() = 0;
        // le "= 0" est la syntaxe pour "virtuelle pure"
        // rien a voir avec une initialisation.

    private:
        ...
};
```

Exemple (déclaration)

```
class Line : public Drawable
{
    public:
        ...

        // methode virtuelle
        virtual void draw();

    private:
        ...
};
```

Exemple (déclaration)

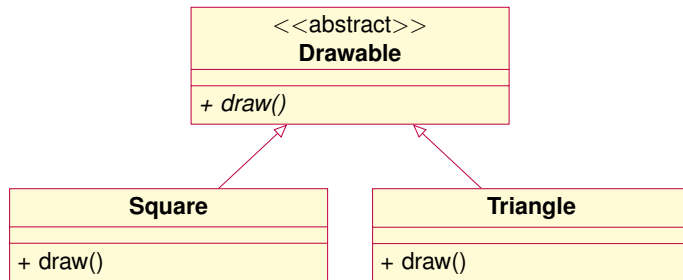
```
// debut du fichier .cpp  
  
...  
  
void Line::draw()  
{  
    // instructions de dessin de la ligne  
    ....  
}
```

Exemple complet minimaliste

`code/dessiner/dessiner.cpp`

Classes abstraites

- Définition : classe contenant au moins une méthode **virtuelle pure**
- Exemple précédent : classe Drawable



- Impossible d'instancier un objet d'une classe abstraite

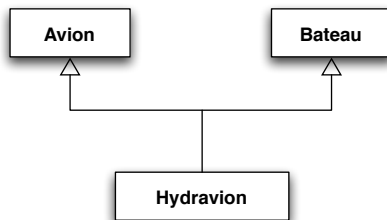
Sommaire de cette section

1 (Ré)visions de C++ : épisode 2

- Méthodes virtuelles
- Héritage multiple
- Héritage virtuel

Héritage multiple : présentation

- Possibilité d'hériter de **plusieurs classes**

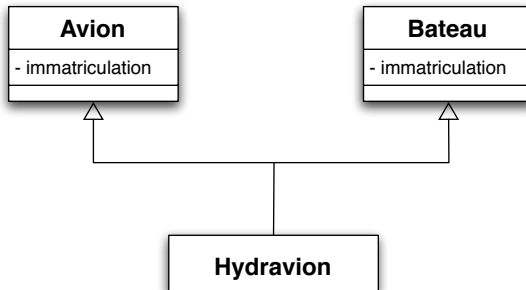


- Syntaxe :

```
class Hydravion : public Avion, public Bateau
{
    ...
};
```

Héritage multiple : problème des homonymes

- Ambiguïté lorsque les deux classes mères ont des attributs/méthodes de même nom



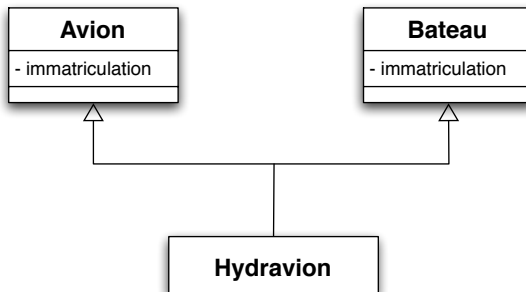
Question



Quelle méthode choisir ?

Héritage multiple : problème des homonymes

- Ambiguïté lorsque les deux classes mères ont des attributs/méthodes de même nom



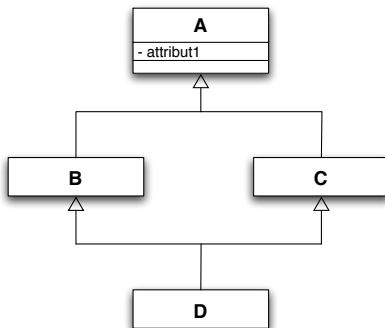
- Résolution : emploi de l'opérateur de résolution de portée
`Avion::immatriculation`, `Bateau::immatriculation`

Sommaire de cette section

- 1 (Ré)visions de C++ : épisode 2
 - Méthodes virtuelles
 - Héritage multiple
 - Héritage virtuel

Problème d'origine

- Problème dans la situation d'héritage multiple :



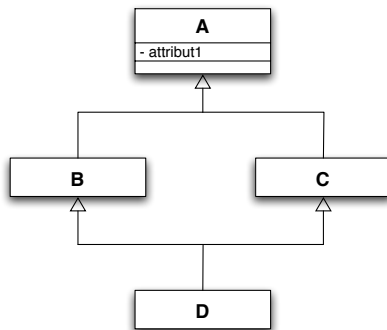
Question



Quel est le problème ?

Problème d'origine

- Problème dans la situation d'héritage multiple :



- `attribut1` est hérité en double par **D** !
- Données de **A** en double dans **D**, double appel du constructeur de **A** à la construction de **D**

Une solution : héritage virtuel

- Rien à voir avec les méthodes virtuelles !
- Utilisation du mot-clé `virtual` : n'hériter qu'un exemplaire
- Sur l'exemple précédent :

```
class B : virtual public A
{
    public:
        B();
    ...
};
```

```
class C : virtual public A
{
    public:
        C();
    ...
};
```

Solution : héritage virtuel

- Déclaration de la classe D :

```
class D : virtual public A,  
    // pour pouvoir appeler directement son constructeur  
    public B, public C  
    // C'est vraiment d'elles qu'on herite.  
{  
    public:  
        D();  
        ...  
};
```

- Implémentation de la classe D :

```
D::D() : A(),  
        B(),  
        C()  
{ /* suite des initialisations */ }
```

Bilan sur l'héritage virtuel

- Permet d'éviter les ambiguïtés en cas d'héritage multiple
- À utiliser à bon escient !
 - ▶ Si les classes héritant d'une même classes de base sont susceptibles d'être dérivées en même temps
- Suite du cours : utilisation bien spécifique (`sc_interface`)

Sommaire

- 1 (Ré)visions de C++ : épisode 2
- 2 **SystemC : Communications haut-niveau**

Sommaire de cette section

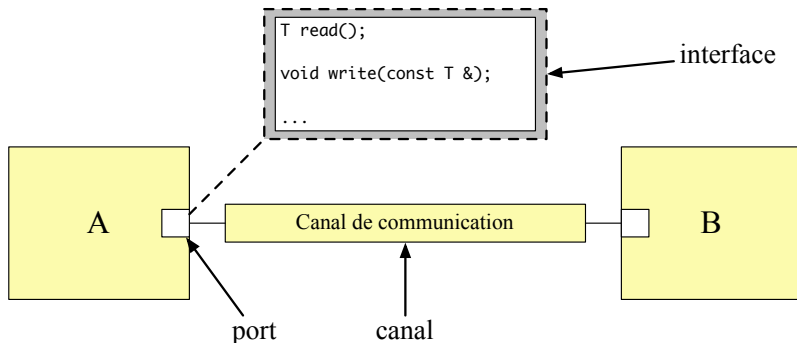
2 SystemC : Communications haut-niveau

- Objectifs
- Interfaces
- Ports génériques
- Canaux de communication primitifs
- Canaux prédéfinis

Objectifs

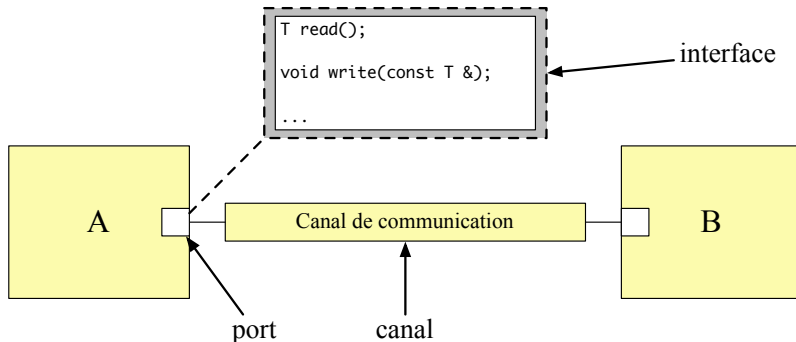
- Comprendre le cadre global de définition des communications en SystemC
- Définition de nouveaux modes de communications
- Étude des communications haut-niveau pré-définies

Concepts



- But : \approx Appel de méthode distante
- \Rightarrow Permettre à A d'appeler des fonctions de B (ou du canal) ...

Concepts



- But : \approx Appel de méthode distante
- \Rightarrow Permettre à A d'appeler des fonctions de B (ou du canal) ...
... sans connaître B ni le canal *a priori*!

Sommaire de cette section

2 SystemC : Communications haut-niveau

- Objectifs
- **Interfaces**
- Ports génériques
- Canaux de communication primitifs
- Canaux prédéfinis

Interfaces en génie logiciel

- Principe général (en dehors de SystemC) :
 - ▶ **A** veut accéder à la fonction `toto` de **B**, mais ne doit pas dépendre de **B** (couplage faible, possibilité d'appeler des fonctions pas encore écrites comme des plugins, ...)
 - ▶ \rightsquigarrow on définit une interface `IfB` qui déclare `toto` et **A** l'utilise. Choix du **B** concret reporté à plus tard.

Interfaces

- Élément définissant les actions possibles pour réaliser une communication
- En pratique :
 - ▶ **Interface** SystemC : classe **abstraite** dérivant de `sc_interface`
 - ▶ **Actions possibles** : méthodes de cette classe
 - ▶ Généricité sur le type des données des communications
- Exemple : communication rendez-vous avec valeur
 - ▶ Lecture de valeur : action `get`
 - ▶ Écriture de valeur : action `put`
 - ▶ Deux modules communiquant : l'un en lecture, l'autre en écriture

Interfaces

- Élément définissant les actions possibles pour réaliser une communication
- En pratique :
 - ▶ **Interface** SystemC : classe **abstraite** dérivant de `sc_interface`
 - ▶ **Actions possibles** : méthodes de cette classe
 - ▶ Généricité sur le type des données des communications
- Exemple : communication rendez-vous avec valeur
 - ▶ Lecture de valeur : action `get`
 - ▶ Écriture de valeur : action `put`
 - ▶ Deux modules communiquant : l'un en lecture, l'autre en écriture
- En deux temps :
 - 1 On dit que le canal accepte les actions `put/get` via une interface,
 - 2 On dit ce que fait le canal dans ces cas là.

Exemple

- Exemple : communication rendez-vous avec valeur

```
template<typename T>
class rendezvous_in_if : virtual public sc_interface
{
    public:
        // methode virtuelle pure
        virtual T get() = 0;
};

template<typename T>
class rendezvous_out_if : virtual public sc_interface
{
    public:
        // methode virtuelle pure
        virtual void put(const T & val) = 0;
};
```

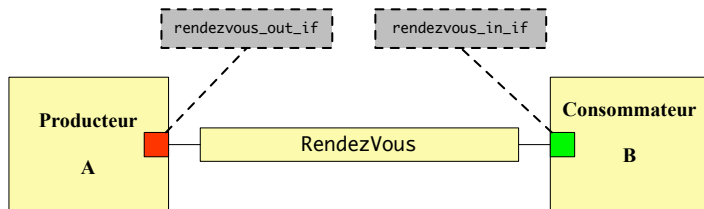
Sommaire de cette section

2 SystemC : Communications haut-niveau

- Objectifs
- Interfaces
- **Ports génériques**
- Canaux de communication primitifs
- Canaux prédéfinis

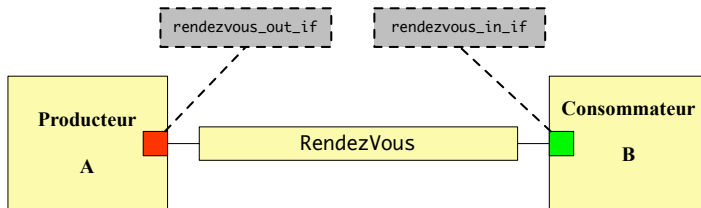
Ports génériques

- Objets fournissant un point de connexion dans le module
- En pratique :
 - ▶ Objet de la classe `sc_port`
 - ▶ Généricité sur l'**interface**
 - ▶ Utilisation : `sc_port<interface>`
- Exemple : communication rendez-vous avec valeur



Ports génériques : à l'intérieur

- Surcharge des opérateurs `*` et `->` :
- `port->foo()` \Leftrightarrow `canal.foo()`
- \Rightarrow permet d'utiliser le canal sans savoir a priori lequel c'est.



Exemple de code de modules

- Exemple : communication rendez-vous avec valeur

```
SC_MODULE (Producteur)
{
    sc_port<rendezvous_out_if<int> > sortie;

    SC_CTOR (Producteur);
    void production();
};
```

```
SC_MODULE (Consommateur)
{
    sc_port<rendezvous_in_if<int> > entree;

    SC_CTOR (Consommateur);
    void consommation();
};
```

Utilisation (1/2)

● Exemple : Producteur

```
Producteur::Producteur(sc_module_name name)
    : sc_module(name)
{
    SC_THREAD(production);
}

void Producteur::production()
{
    for (int i=0; i<10; i++)
    {
        cout << "Envoi de " << i << endl;

        // attention -> n'a rien a voir avec un pointeur
        // ~ raccourci pour sortie.get_interface()->put(i)
        sortie->put(i);
    }
}
```

Utilisation (2/2)

- Exemple : Consommateur

```
Consommateur::Consommateur(sc_module_name name)
                        : sc_module(name)
{
    SC_THREAD(consoption);
}

void Consommateur::consoption()
{
    while (true)
    {
        int valeur_recue = entree->get();

        cout << "Recu : " << valeur_recue << endl;
    }
}
```

Retour sur RTL

- Éléments utilisés précédemment :

- ▶ `sc_in<type>` : « raccourcis » pour `sc_port<sc_signal_in_if<type> >`
- ▶ `sc_out<type>` : « raccourcis » pour
`sc_port<sc_signal_out_if<type> >`

- Question ?

Sommaire de cette section

2 SystemC : Communications haut-niveau

- Objectifs
- Interfaces
- Ports génériques
- **Canaux de communication primitifs**
- Canaux prédéfinis

Canal de communication

- Définition : objet gérant les communications entre plusieurs modules
- Canal de communication **primitif** : canal construit dans le cadre de base fourni par SystemC
- Donne la sémantique des communications
- Donne les connexions autorisées
- En pratique :
 - ▶ Classe dérivant de `sc_prim_channel`
 - ▶ Implémente des interfaces de communications
 - ▶ Généricité sur le type des données des communications

Exemple

- Exemple : communication rendez-vous avec valeur
 - ▶ Action `get` : lecture bloquante si pas de donnée disponible
 - ▶ Action `put` : écriture bloquante si pas de lecture par le module qui lit
 - ▶ Connexions uniquement entre deux modules

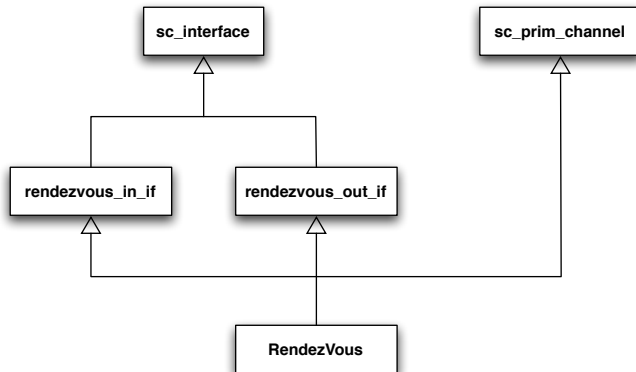
Déclaration du canal correspondant

```
template<typename T>
class RendezVous : public sc_prim_channel,
                   public rendezvous_in_if<T>,
                   public rendezvous_out_if<T>
{
    public:
        RendezVous(const char *name);

        virtual T get();
        virtual void put(const T & val);

    private:
        ...
}
```


Organisation des classes



Implémentation du canal correspondant

- Constructeur :

```
template<typename T>
RendezVous<T>::RendezVous(const char *name)
                        : sc_prim_channel(name)
{
    ...
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en écriture :

```
template<typename T>
void RendezVous<T>::put(const T & val)
{
    ...
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en lecture :

```
template<typename T>
T RendezVous<T>::get ()
{
    . . .
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en écriture :

```
template<typename T>
void RendezVous<T>::put(const T & val)
{
    // "Ecrire" la valeur

    // Dire au processus qui lit que l'on a écrit

    // Attendre que le processus qui lit ait lu

}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en écriture :

```
template<typename T>
void RendezVous<T>::put(const T & val)
{
    // "Ecrire" la valeur
    shared_value = val;

    // Dire au processus qui lit que l'on a écrit

    // Attendre que le processus qui lit ait lu

}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en écriture :

```
template<typename T>
void RendezVous<T>::put(const T & val)
{
    // "Ecrire" la valeur
    shared_value = val;

    // Dire au processus qui lit que l'on a écrit
    put_ok = true;
    put_event.notify();

    // Attendre que le processus qui lit ait lu

}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en écriture :

```
template<typename T>
void RendezVous<T>::put(const T & val)
{
    // "Ecrire" la valeur
    shared_value = val;

    // Dire au processus qui lit que l'on a écrit
    put_ok = true;
    put_event.notify();

    // Attendre que le processus qui lit ait lu
    if (!get_ok)
        wait(get_event);

    get_ok = false;
}
```


Implémentation du canal correspondant

- Accès en lecture :

```
template<typename T>
T RendezVous<T>::get()
{
    // Attendre l'écriture de la valeur

    // Dire au processus qui écrit que l'on a lu

    // Retourner la valeur
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en lecture :

```
template<typename T>
T RendezVous<T>::get()
{
    // Attendre l'écriture de la valeur
    if (!put_ok)
        wait(put_event);
    put_ok = false;

    // Dire au processus qui écrit que l'on a lu

    // Retourner la valeur
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en lecture :

```
template<typename T>
T RendezVous<T>::get()
{
    // Attendre l'écriture de la valeur
    if (!put_ok)
        wait(put_event);
    put_ok = false;

    // Dire au processus qui écrit que l'on a lu
    get_ok = true;
    get_event.notify();

    // Retourner la valeur
}
```

Implémentation du canal correspondant

- Accès en lecture :

```
template<typename T>
T RendezVous<T>::get()
{
    // Attendre l'écriture de la valeur
    if (!put_ok)
        wait(put_event);
    put_ok = false;

    // Dire au processus qui écrit que l'on a lu
    get_ok = true;
    get_event.notify();

    // Retourner la valeur
    return shared_value;
}
```

Déclaration complète

```
template<typename T>
class RendezVous : public sc_prim_channel,
                   virtual public rendezvous_in_if<T>,
                   virtual public rendezvous_out_if<T>
{
public:
    RendezVous(const char *name);

    virtual T get();
    virtual void put(const T & val);

private:
    T          shared_value;
    bool       get_ok, put_ok;
    sc_event   get_event, put_event;
};
```

Implémentation du canal correspondant

- Constructeur complet :

```
template<typename T>
RendezVous<T>::RendezVous(const char *name)
                        : sc_prim_channel(name)
{
    shared_value = 0;
    get_ok = false;
    put_ok = false;
}
```



Démo


Sommaire de cette section

2 SystemC : Communications haut-niveau

- Objectifs
- Interfaces
- Ports génériques
- Canaux de communication primitifs
- Canaux prédéfinis

Canaux prédéfinis dans SystemC

- `sc_mutex`

- ▶ Canal « exclusion mutuelle »
- ▶ Opérations : `lock()`, `unlock()` ...
- ▶ Verrouillage bloquant, déverrouillage non bloquant
- ▶ Version non bloquante du verrouillage : `trylock()`
- ▶  \neq `pthread_mutex_t`

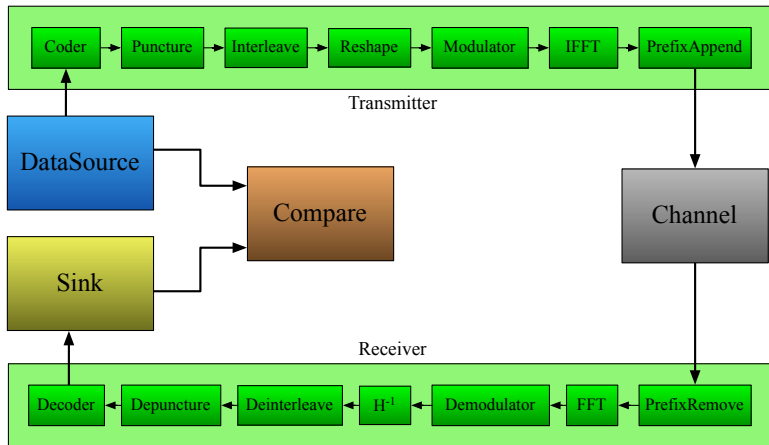
- `sc_fifo`

- ▶ File d'attente de taille fixe
- ▶ Opérations : `read()`, `write()` ...
- ▶ Versions non bloquantes

- D'autres non présentés : `sc_semaphore`, `sc_buffer`...

Exemple d'utilisation de `sc_fifo`

- Modélisation flot de données (**dataflow**)
- Ex : traitement du signal (couche physique d'un modem radio)



Conclusion

- Mécanisme général de définition des communications
- Réutilisation des éléments de base

Conclusion

- Mécanisme général de définition des communications
- Réutilisation des éléments de base

Question



Cela suffit pour modéliser des comportements initiateur/-cible ?