AADL: Architecture Analysis & Design Language

Etienne Borde

etienne.borde@telecom-paristech.fr

Introduction et généralités

Modèle = abstraction

- Un modèle est une abstraction de la réalité, abstraction à partir de laquelle il devient possible de raisonner
  - Calculer des **dimensions caractéristiques** (consommation énergétique, temps de réponse, température, etc.).
  - **Vérifier la conformité** des dimensions caractéristiques vis-à-vis d'exigences (poids d'un avion, nombre de passager, besoin en carburant par km…).
  - Fournir des **points de vus** différent en fonction des rôles, préoccupations et/ou expertises de chacun (constructeur ou utilisateur d'un train, d'un avion, d'une voiture).

- C'est une définition plutôt vague, et c'est le but: pour modéliser, il faut de la rigueur (objectif = calcul, vérification) et de l'ouverture d'esprit (moyen = abstraction, point de vu)...

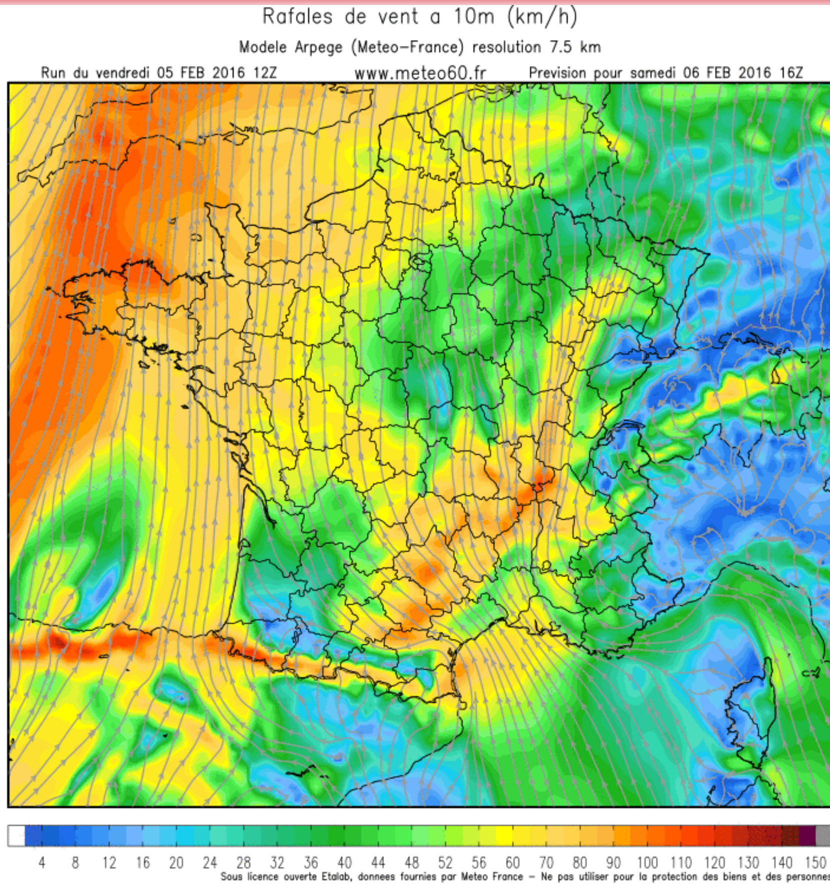
- Prenons quelques exemple pour rendre tout cela plus concret…

Définition de base

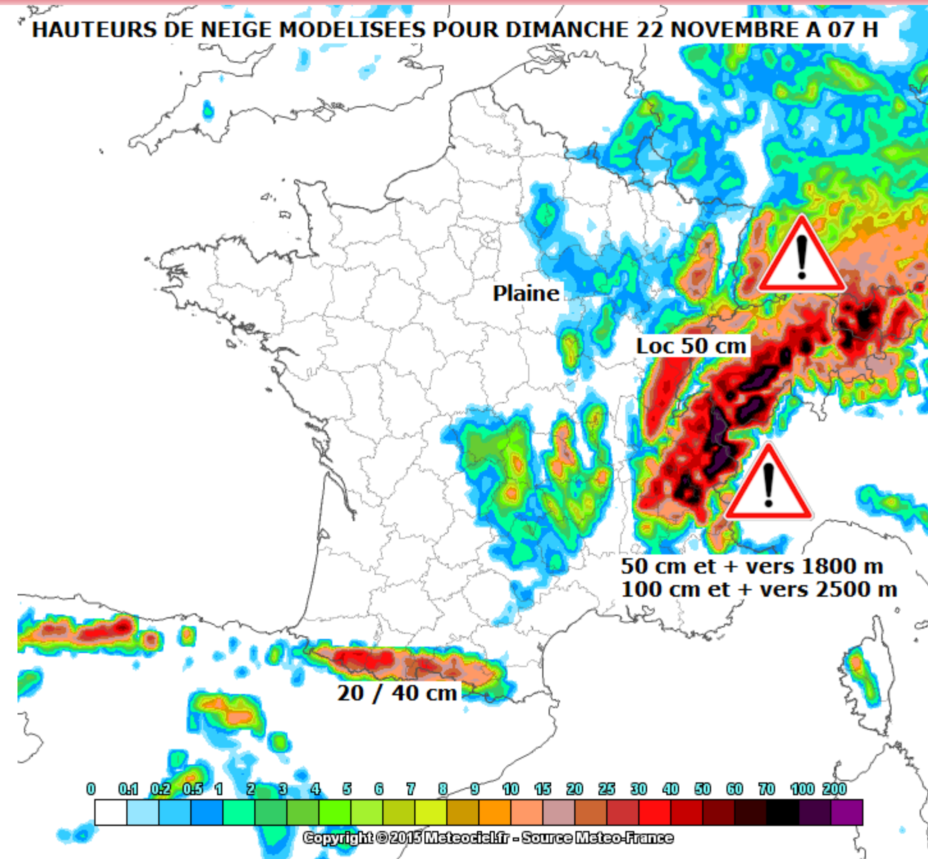
Modeling, in the broadest sense, is the ***cost-effective*** *use of something in place of something else for some* ***cognitive purpose****. It allows us to* ***use something that is simpler, safer or cheaper than reality instead of reality for some purpose****. A model represents reality for* ***the given purpose****; the model is an* ***abstraction of reality in the sense that it cannot represent all aspects of reality****. This allows us to deal with the world in a simplified manner, avoiding the complexity, danger and irreversibility of reality.*

"The Nature of Modeling" Jeff Rothenberg in Artificial Intelligence, Simulation, and Modeling, L.E. William, K.A. Loparo, N.R. Nelson, eds. New York, John Wiley and Sons, Inc., ***1989****, pp. 75-92*

Exemple … Cartes météo



Carte des rafales de vents, avec direction et vitesse



Carte de l'enneigement, avec Risques d'avalanches

Carte météo = abstraction

TELECOM ParisTech

- Un modèle est une abstraction de la réalité
  - ⌘ Calculer des **dimensions caractéristiques**
    - *Niveau de risque d'inondation/incendie/avalanche*
    - *Température max/min/moyenne*
    - *Vitesse des rafales de vent*
  - ⌘ **Vérifier la conformité** des dimensions caractéristiques vis-à-vis d'exigences
    - *Un marin var vérifier la présence de vent, sa direction et sa vitesse…*
    - *Un alpiniste vérifiera la présence de neige, la présence de vent, la température…*
  - ⌘ Fournir des **points de vus** différents en fonction des rôles, préoccupations et/ou expertises de chacun.
    - *Carte des températures, des vents, des précipitations, etc…*

Modèle = syntaxe + sémantique

TELECOM ParisTech

- Un modèle a aussi pour objectif de donner une représentation facile à comprendre, interpréter, retenir…
- Il faut pour cela:
  - ⌘ Une représentation textuelle et/ou graphique.
  - ⌘ Une sémantique associée, plus ou moins abstraite.
- Sur les exemples précédents, les couleurs servent souvent de représentation graphique (syntaxique) alors que la légende explique la sémantique associée.
- La sémantique associée est plus ou moins abstraite…
- Les modèles sont souvent des moyens de « prédiction »…

Les modèles en informatique

TELECOM ParisTech

- Un programme écrit en C est-il un modèle? …
  - ⌘ ***cost-effective*** *use of something in place of something else for some* ***cognitive purpose****.*
    - Le langage C a bien été conçu pour réduire le cout de développement/portage d'un système d'exploitation
    - C'est un langage de « haut niveau », objectif cognitif.
  - ⌘ *It allows us to* ***use something that is simpler, safer or cheaper than reality instead of reality for some purpose****. A model represents reality for* ***the given purpose****; the model is an* ***abstraction of reality in the sense that it cannot represent all aspects of reality***
    - Il est plus facile d'écrire du code en C qu'en assembleur, l'objectif est le même: automatiser l'exécution d'un algorithme sur un ordinateur
    - On s'abstrait du fonctionnement de la machine (jeu d'instruction du processeur, structure de la mémoire, registres, etc…).
- Est-ce suffisant? … Analyse/Vérification?

Rôle des modèles pour les systèmes embarqués

TELECOM ParisTech

- S'appuyer sur des modèles lors de la conception pour prendre des décisions, « valider » au plus tôt, explorer des alternatives …

- Faciliter les phases de conception en s'appuyant sur une représentation abstraite (modèle):
  - Support à la communication entre ingénieurs
  - Support à la documentation des solutions choisi
  - Support à la validation au plus tôt des exigences, par raisonnement sur le modèle (calcul de propriétés caractéristiques)
  - Support à la configuration de la plate-forme (OS+routage)
  - Support à la génération de code source (C, Ada, Java…)

Modèles et architectures

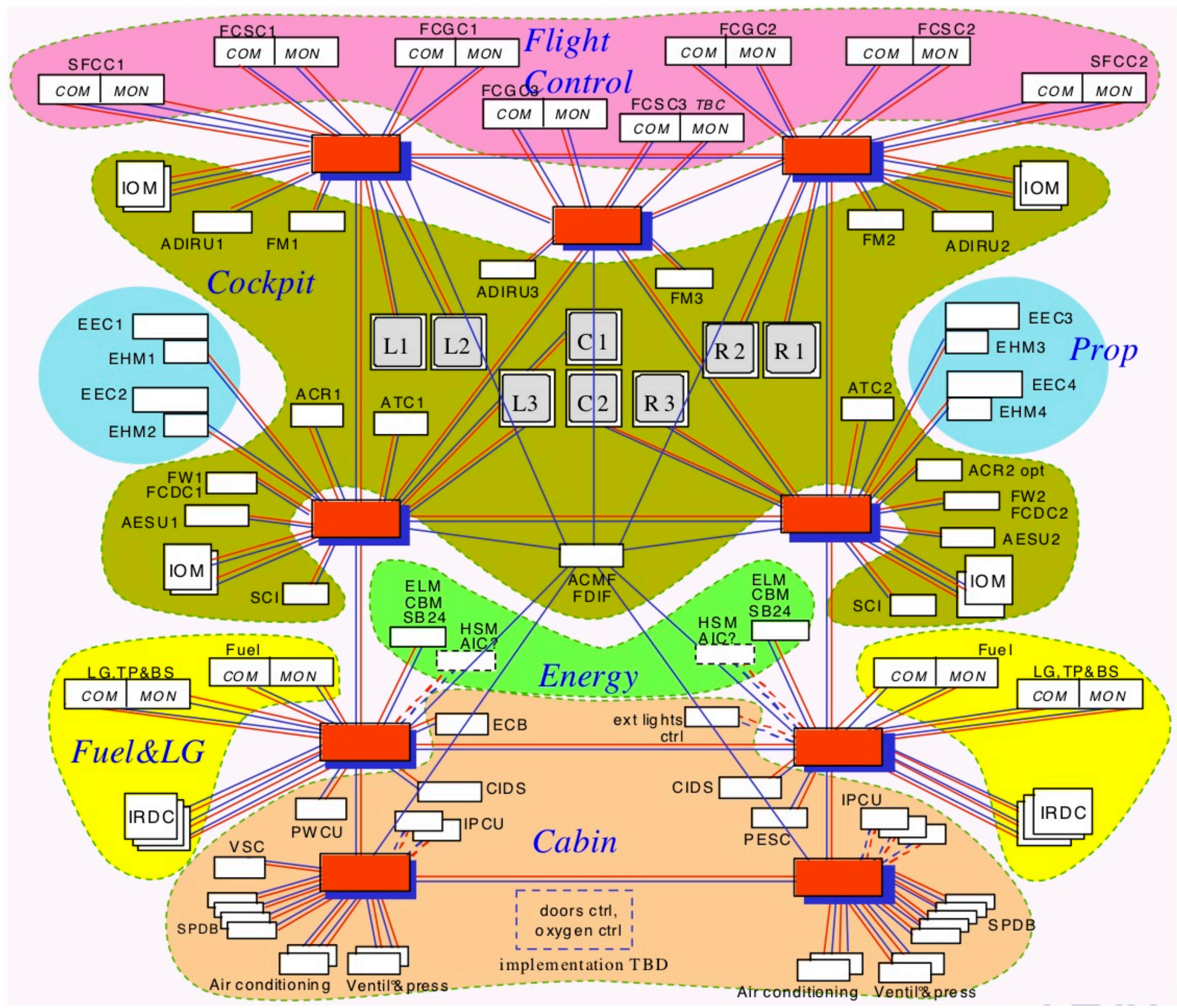
TELECOM ParisTech

- En informatique, les modèles permettent de représenter une ***architecture*** informatique: l'**organisation** et les **relations** existantes entre les **éléments** (logiciels, matériels, et/ou sous-systèmes) d'un système informatique.

- Rappel, un modèle utilise un langage :
  - ⌘ syntaxe + sémantique

- On parle de langage de description d'architecture

Exemple d'architecture avionique



Comment, et pourquoi modéliser une telle architecture?

Contexte industriel

- Systèmes de plus en plus complexe
  - difficulté de compréhension du système
  - difficulté de partager de l'information synthétique
  - difficulté d'analyser le système
- Temps de commercialisation de plus en plus court
  - Automatiser le processus de construction
  - Réutiliser et adapter des fonctionnalités existantes
- Un formalisme de description est nécessaire
  - pour décrire l'architecture (documentation, partage de l'information au sein d'une équipe technique)
  - pour analyser et vérifier ses propriétés
  - pour générer le code (ou les squelettes de code) correspondant à cette architecture

AADL: objectif principal et moyens

TELECOM ParisTech

- Faciliter la conception (*structuration et analyse d'architectures*) des systèmes temps-réels distribués
  - ⌘ Définit une sémantique, standardisée, aussi précise (et concrète) que possible pour l'ensemble des éléments du langage
    - o La sémantique est décrite en langage naturelle dans un standard, ~340 pages hors annexes
  - ⌘ Ne pouvant couvrir l'ensemble des exigences de conception du domaine, AADL propose des mécanismes d'extension (*i.e.* langage de propriétés et annexes)
  - ⌘ Propose trois niveau de modélisation:
    1. Système
    2. Logiciel
    3. Matériel

AADL: objectifs détaillés (mais partiels)

TELECOM ParisTech

- Analyse de systèmes temps réel
  - Temps de réponse des tâches
  - Temps de transmission des données (temps de latence, gigue)
  - Disponibilité, fiabilité, …
- Modélisation de code legacy
  - Représentation du code
  - Représentation des données
- Génération automatique de code
  - Diversité des langages de programmation (Java, C, Ada, …)
  - Diversité des systèmes d'exploitations avec leurs API (RT-POSIX, FreeRTOS, VxWorks, ARINC653, OSEK…)

Historique

- Anciennement « Avionics Architecture Description Language »
- Evolution de MetaH, qui était développé par Honeywell
- Plusieurs représentations
  - ⌘ representation textuelle
    - pour contrôler tous les détails du système
  - ⌘ représentation graphique
    - convenable pour avoir une vision globale du système
- Version 1.0 publiée en 2004, version 2.0 a été publiée fin 2009

Usage des modèles d'architectures dans l'industrie?

TELECOM ParisTech

- Surtout UML, mais DSLs (Domain Specific languages) dans le domaine de l'embarqué
  - ⌘ Chaque société à son propre ADL ou presque…
  - ⌘ Nous utilisons AADL pour illustrer les principes généraux de ce type de langages
- Langage trop complexes ➔ apprentissage long et couteux
- Objectifs:
  - ⌘ Spécification,
  - ⌘ Documentation,
  - ⌘ Conception,
  - ⌘ Analyse,
  - ⌘ Génération de code

Les composants AADL,
et leur composition

Caractéristiques générales

- Langages de description d'architecture: les ***composants*** sont les éléments de base du langage.
- En AADL, les composants appartiennent à une Catégorie (Process, thread, data, processor, etc.)
- La déclaration d'un composants est structurée en
  - Déclaration du type de composant: vise à définir ses interfaces de communications avec d'autres composant (ports, access points, …)
  - Déclaration de l'implémentation de composant: vise à définir la structure interne du composants (sous-composant, code, spec. comportementale, etc…)
- Pour 1 Catégorie, on peut déclarer plusieurs types; pour 1 type on peut déclarer plusieurs implémentations
- Des propriétés (prédéfinies ou définies par le concepteur) peuvent être associées à chaque élément de modélisation (type de composant, implémentation, sous-composant, ports, connections,…)
- Langage descriptif: les composants peuvent être spécifiés dans n'importe quel ordre
- Langage non sensitif à la casse

Catégories de composants

TELECOM ParisTech

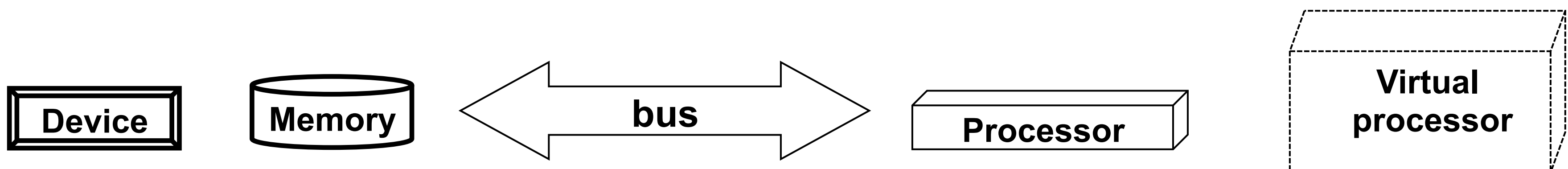
- Éléments de base d'une description architecturale: toute déclaration de composant AADL (type ou implémentation) doit correspond à une catégorie de composant

- Plusieurs ensembles de catégories
  - Matériel (*execution platform components*)
  - Logiciel (*software components*)
  - système (*system composition*)

Description de la plate-forme d'exécution

TELECOM ParisTech

- Plusieurs catégories
  - processor : unité de calcul + ordonnanceur
  - Virtual processor: resource virtuelle d'exécution (e.g. machine virtuelle)
  - memory : composant de stockage (disque dur, mémoire vive, etc.)
  - bus : lien physique de communication (réseau, etc.)
  - device : interfaces physique/logique du système avec l'environnement (capteur/actionneur/pilote de périphérique)
- Attention:
  - un processor modélise processeur + noyau contenant entre-autres un ordonnanceur.
  - Un device sert typiquement à modéliser un capteur + le pilote de ce capteur (composant matériel et logiciel)



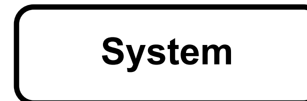
Description du logiciel

- Plusieurs catégories
  - ⌘ thread : tâche qui exécute des fonctions du système (pas forcément un thread du noyaux…)
  - ⌘ data : type de données abstrait (pas forcément de correspondance avec un type de donnée en programmation)
  - ⌘ process : processus, un espace mémoire d'adressage logique pour l'exécution des threads qu'il contient
  - ⌘ subprogram : procédure, comme pour les langages de programmation. N'as pas de valeur de retour
- Un process doit contenir au moins un thread.

Description système

TELECOM ParisTech

- Permet de structurer la description (matériel+logiciel)
- Un implémentation de composant de catégorie système peut contenir des sous-composant de catégorie:
  - ⌘ system
  - ⌘ processor, memory, device, bus
  - ⌘ process, data
- MAIS PAS de catégorie:
  - ⌘ thread
  - ⌘ thread group
  - ⌘ subprogram



Composition de composants AADL

TELECOM ParisTech

- Une implémentation de composant peut avoir des sous-composants
- Une modélisation AADL est donc une arborescence de composants, commençant par un composant racine de la catégorie system.

Implémentation de catégorie	Peut contenir des sous-composant de catégorie
data	data
thread	data
thread group	data, thread
process	thread,
processor	memory
memory	memory
system	tous sauf subprogram, thread et thread group

Eléments de syntaxe (package)

```
---------------------------------------
-- Package describing the architecture
-- of the line follower robot
---------------------------------------

package nxt_use_case -- beginning of package declaration
public -- beginning of public (i.e. visible) package section

with Data_Model; -- gives visibility to existing declarations in the
                 -- public section of a package nammed Data_Model (if any),
                 -- or to a property set nammed Data_Model (if any)



-- components declaration will be added here



end nxt_use_case; -- end of package declaration
```

Eléments de syntaxe (component type)

```
package nxt_use_case
public

with Data_Model;

system nxt -- beginning of declaration of component type nxt, of category system
end nxt;   -- end of declaration of component type nxt

processor arm
end arm; -- declaration of component type arm, of category processor

process proc
end Proc; -- declaration of component type proc, of category process



end nxt_use_case;
```

Eléments de syntaxe (component implementation)

TELECOM ParisTech

```
package nxt_use_case
public

system nxt
end nxt;

system implementation nxt.Impl
end nxt.Impl; -- declaration of component implementation nxt.Impl,
              -- of type nxt (declared above), of category system

processor arm
end arm;

processor implementation arm.v7
end arm.v7; -- declaration of component implementation arm.v7,
            -- of type arm (declared above), of category system

end nxt_use_case;
```

Eléments de syntaxe (sous-composants)

```
package nxt_use_case
public

system nxt
end nxt;

system implementation nxt.Impl
  subcomponents -- subcomponents section in nxt.Impl
    cpu1: processor arm.v7;
    cpu2: processor arm.v7;
    proc1: process proc.impl;
    proc2: process proc.impl;
end nxt.Impl;

-- the declaration of arm.v7 and proc.impl have been removed for the sake of
-- brevity; see slides above to retreive these declarations

end nxt_use_case;
```

Notes sur la syntaxe vue précédemment

- Commentaires commencent par --

- Déclaraction d'un package pkg_id:

  ```
  package pkg_id
  public
  …
  end pkg_id;
  ```

- Déclaration d'un type de composant cpt_id

  ```
  process cpt_id
  end cpt_id;
  ```

- Déclaration d'une implémentation de composant cpt_id.impl_id, avec un sous composant subcpt_id.

  ```
  process implementation cpt_id.impl_id
    subcomponents
      subcpt_id: thread other_cpt_id[.other_impl_id;
   end cpt_id.impl_id;
  ```

Représentation des composants matériels du robot en AADL

Light sensor

Motor Right

Motor Left

Sonar

bus

bus

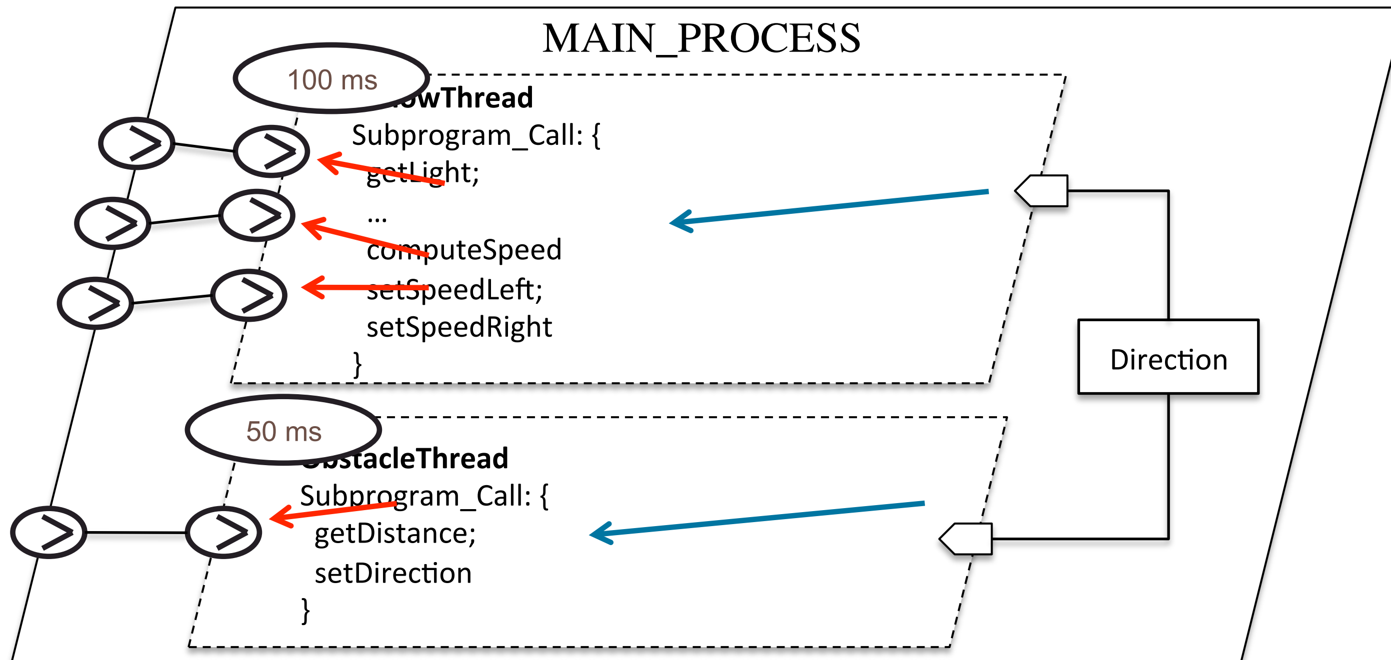
bus

bus

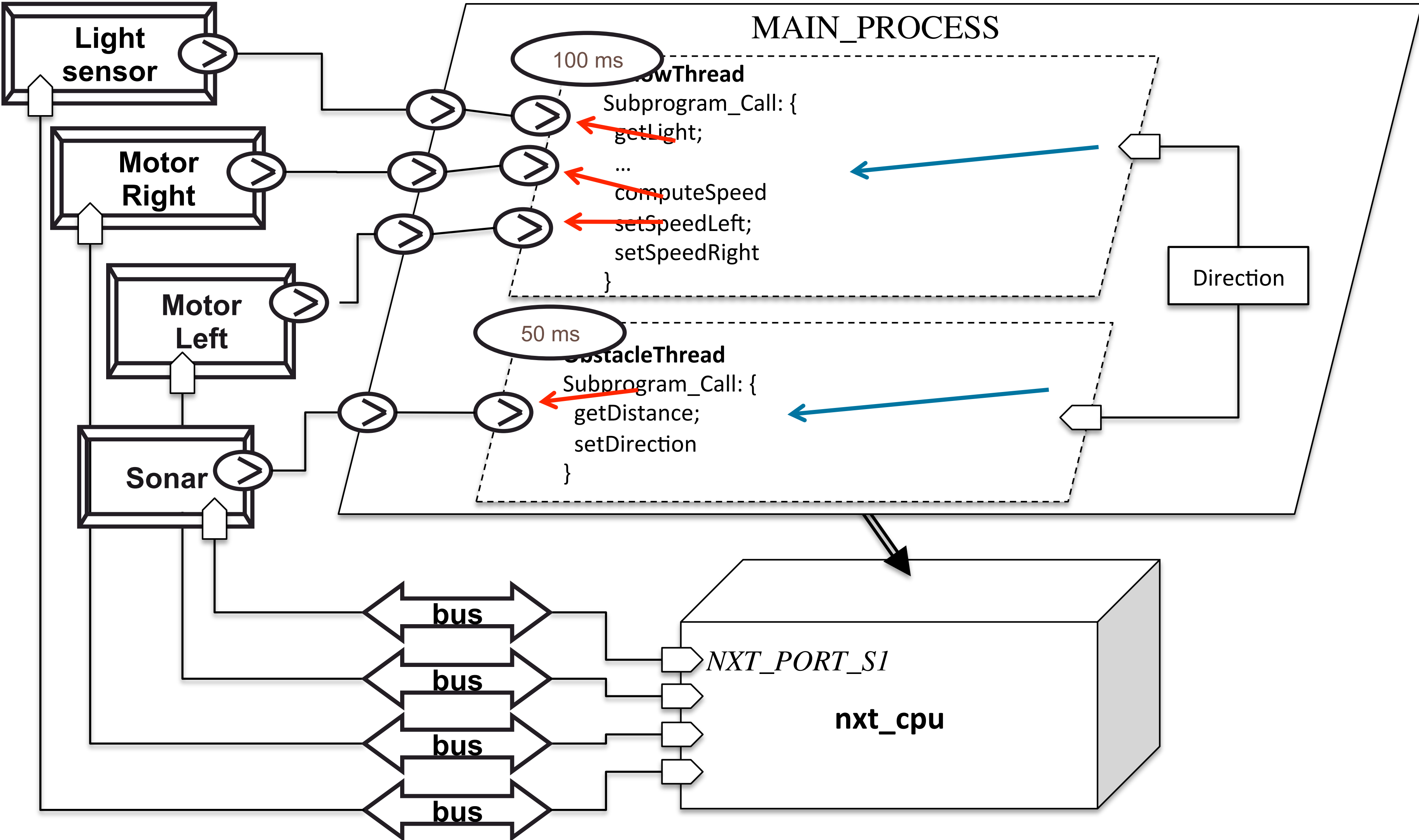
NXT_PORT_S1

nxt_cpu

Intégration du code dans une architecture temps-réel



Représentation de l'architecture intégrée du robot



Le rôle des propriétés dans un modèle AADL

Les propriétés en AADL: principes de base

TELECOM ParisTech

- Une propriété permet d'associer une valeur d'un certain type à un élément du modèle.
  - ⌘ Le standard AADL définit un ensemble de ***propriétés standard***
  - ⌘ il est possible de définir de nouvelles propriétés dans des ensembles de propriétés (**property sets**)
    - o un langage complémentaire à celui présenté jusque là

- Les propriétés peuvent être associées à quasiment tous les éléments d'une description d'architecture en AADL

- Dans le langage de définition des propriétés, on peut contraindre l'applicabilité d'une propriété à un ensemble d'éléments (p.ex. ceux de catégorie processor uniquement)

Les propriétés en AADL: premiers éléments de syntaxe

TELECOM ParisTech

- Une propriété peut être du type
  - un booléen : `aadlboolean`
  - un entier : `aadlinteger`
  - un réel : `aadlreal`
  - une chaîne de caractères : `aadlstring`
  - une énumération : `enumeration`
  - une catégorie d'élément : `classifier` (composant, connexion, etc.)
  - une référence à un element: `reference` (composant…)
  - une plage de valeurs : `list of …`
  - A metrics unit : `unit`
- On peut
  - définir des types de propriété en réutilisant des types existants
  - associer une valeur par défaut à une propriété
- `applies to` spécifie à quels types d'éléments du modèle la propriété peut s'appliquer

Eléments de syntaxe: déclaration d'un ensemble de propriétés (property set)

```
---------------------------------
-- declaration of a property set
-- named propertyset_id
---------------------------------


property set propertyset_id is

  -- declaration of properties should be added here

end propertyset_id;
```

Propriétés pour l'analyse d'ordonancement

Propriétés en lien avec RTA

TELECOM ParisTech

- Les composants AADL concernés sont
  - ⌘ Les threads, composant « principaux » en AADL
  - ⌘ Les processeurs car ils contiennent l'ordonnanceur
- L'ordonnancement est définie grâce à des propriétés prédéfinies
  - ⌘ *Dispatch_protocol*, le thread est
    - ***periodic***, le thread est réveillé périodiquement
    - ***sporadic***, le thread est réveillé sur réception de messages, avec un délais minimale entre deux réveils
    - ***aperiodic,*** le thread est réveillé sur réception de messages
    - ***timed,*** le thread est réveillé ***soit*** sur réception de messages ***soit*** sur échéance temporelle (timer réinitialisé sur réception de message)
    - ***Hybrid,*** le thread est réveillé ***à la fois*** sur réception de messages ***et*** sur échéance temporelle
  - ⌘ *Compute_execution_time* représente le temps d'exécution d'un thread ou d'un sous-programme.
  - ⌘ *Priority* permet d'associer une valeur de priorité à un thread.
  - ⌘ *Deadline* permet d'associer une valeur d'échéance à un thread.
  - ⌘ *Scheduling_Protocol* précise la politique d'ordonnancement associé à un processeur.

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
-------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
-------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Identifiant de la propriété ou du type

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
--------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
--------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
     (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
     virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
     applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
     (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Il s'agit d'un type de valeur

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
-----------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
----------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Les valeurs admises pour ce type sont des entiers entre 0 et Max_Time

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
----------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
----------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Les valeurs admises pour ce type ont une unité Time_Units (défini dans un autre PS)

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
---------------------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
---------------------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Time_Range est un type admettant comme valeur des intervals de temps

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
-----------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
-----------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Period est un identifiant de propriété dont le type est Time

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

Compute_Execution_Time est un identifiant de propriété dont le type est un intervalle de temps Time_Range

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
---------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Timing_Properties
---------------------------------------------------------

property set Timing_Properties is

  Time: type aadlinteger 0 ps .. Max_Time units Time_Units;

  Time_Range: type range of Time;

  Period: Time applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor,
    virtual bus, bus);

  Compute_Execution_Time: Time_Range
    applies to (thread, device, subprogram, event port, event data port);

  Deadline: Time => Period applies to
    (thread, thread group, process, system, device, virtual processor);

end Timing_Properties;
```

La valeur par défaut pour la deadline est la valeur associée à la propriété Period

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
-------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named AADL_Project
-------------------------------------------------------

property set AADL_Project is

  Supported_Dispatch_Protocols: type enumeration
     (Periodic, Sporadic, Aperiodic, Timed, Hybrid, Background);

  -- Supported_Dispatch_Protocols is a property type, defined as an enumeration.
  -- Enumerated values are Periodic, Sporadic, … ; explained later in the lecture.

  Supported_Scheduling_Protocols: type enumeration
    (Static, Round_Robin_Protocol, POSIX_1003_HIGHEST_PRIORITY_FIRST_PROTOCOL,
    FixedTimeline, Cooperative, RMS, DMS, EDF, SporadicServer, SlackServer,
    ARINC653);

  Time_Units: type units (ps, ns => ps * 1000, us => ns * 1000, ms => us * 1000,
  sec => ms * 1000, min => sec * 60, hr => min * 60);

end AADL_Project;
```

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named AADL_Project
------------------------------------------------------

property set AADL_Project is

  Supported_Dispatch_Protocols: type enumeration
     (Periodic, Sporadic, Aperiodic, Timed, Hybrid, Background);

  -- Supported_Dispatch_Protocols is a property type, defined as an enumeration.
  -- Enumerated values are Periodic, Sporadic, … ;

  Supported_Scheduling_Protocols: type enumeration
    (Static, Round_Robin_Protocol, POSIX_1003_HIGHEST_PRIORITY_FIRST_PROTOCOL,
    FixedTimeline, Cooperative, RMS, DMS, EDF, SporadicServer, SlackServer,
    ARINC653);

  Time_Units: type units (ps, ns => ps * 1000, us => ns * 1000, ms => us * 1000,
  sec => ms * 1000, min => sec * 60, hr => min * 60);

end AADL_Project;
```

Correspond à FPS dans cours RTA

Voir cours RTA

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

```
-------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Thread_Properties
-------------------------------------------------------



property set Thread_Properties is

  Priority: aadlinteger applies to
           (thread, thread group, process, system, device, data, data access);

  -- Priority is the property identifier;
  -- Values of this property should be integers;
  -- This property can be applied to components of category thread, process,
     system…

  Dispatch_Protocol: Supported_Dispatch_Protocols
        applies to (thread, device, virtual processor);

end Thread_Properties;
```

Eléments de syntaxe: déclaration de propriétés (propriétés utilisées par la suite)

TELECOM ParisTech

```
-------------------------------------------------------
-- declaration of a subset of standardized properties
-- in property set named Deployment_Properties
-------------------------------------------------------


property set Deployment_Properties is

  Scheduling_Protocol: inherit list of Supported_Scheduling_Protocols
        applies to (virtual processor, processor, system);

end Deployment_Properties;
```

NB: ce langage peut être utilisé pour définir des propriétés non-standardisée

Association de propriétés

- Pour associer une propriété à un composant, on peut :
  1. L'associer à la déclaration du type, et/ou
  2. L'associer à la déclaration de l'implémentation, et/ou
  3. L'associer à la déclaration d'un sous-composant, et/ou
  4. L'associer à partir d'un composant parent.

- Règle de « priorité »: Si on utilise les quatre possibilités, la valeur associée avec la possibilité 4 prévaut sur 3, qui prévaut sur 2, qui prévaut sur 1…

Exemples d’associations de propriété (scheduling protocol)

```
package nxt_use_case
public

system nxt end nxt;

system implementation nxt.Impl
  subcomponents
    cpu1: processor arm.v7 {Scheduling_Protocol => (ARINC653);};
  properties
    Scheduling_Protocol => (RMS) applies to cpu1;
end nxt.Impl;

processor arm
  properties
    Scheduling_Protocol => (Round_Robin_Protocol);
end arm;

processor implementation arm.v7
  properties
    Scheduling_Protocol => (POSIX_1003_HIGHEST_PRIORITY_FIRST_PROTOCOL);
end arm.v7;

…
```

Politique d’ordo = ?

Exemples d'associations de propriété (scheduling protocol)

```
package nxt_use_case
public

system nxt end nxt;

system implementation nxt.Impl
  subcomponents
    cpu1: processor arm.v7 {Scheduling_Protocol => (ARINC653);};
  properties
    Scheduling_Protocol => (RMS) applies to cpu1;
end nxt.Impl;

processor arm
  properties
    Scheduling_Protocol => (Round_Robin_Protocol);
end arm;

processor implementation arm.v7
  properties
    Scheduling_Protocol => (POSIX_1003_HIGHEST_PRIORITY_FIRST_PROTOCOL);
end arm.v7;
…
```

Politique d'ordo = RMS (voir règle énoncée plus haut)!

RTA…
Last but not least … Actual_Processor_Binding

- On a vu
  - ⌘ d’une part, l’architecture du logiciel (process+thread+propriétés)
  - ⌘ d’autre part, l’architecture du matériel (basique pour le moment: un ensemble de processeurs+propriétés)

- Il faut allouer les fonctions du logiciel aux ressources du matériel
  - ⌘ Propriété Actual_Processor_Binding
  - ⌘ Usage:

```
SYSTEM IMPLEMENTATION synchronous.others
  SUBCOMPONENTS
    my_platform : PROCESSOR CPU;
    my_process : PROCESS my_process.impl;
  PROPERTIES
    Actual_Processor_Binding => ( reference(my_platform) )
           applies to my_process;
END synchronous.others;
```

Last but not least... Actual_Processor_Binding

- On a vu
  - d'une part, l'architecture du logiciel (process+thread+propriétés)
  - d'autre part, l'architecture du matériel (basique pour le moment: un ensemble de processeurs+propriétés)

- Il faut allouer les fonctions du logiciel aux ressources du matériel
  - Propriété Actual_Processor_Binding
  - Usage:

```
SYSTEM IMPLEMENTATION synchronous.others
  SUBCOMPONENTS
    my_platform : PROCESSOR CPU;
    my_process : PROCESS my_process.impl;
  PROPERTIES
    Actual_Processor_Binding => ( reference(my_platform) )
           applies to my_process;
END synchronous.others;
```

Spécifie que my_process est alloué à my_platform

Utilisation de AADL pour automatiser le temps de réponse

Exemple (1/2)

```
PACKAGE synchronous_Pkg
PUBLIC
WITH Base_Types;

SYSTEM synchronous
END synchronous;

SYSTEM IMPLEMENTATION synchronous.others
  SUBCOMPONENTS
    my_platform : PROCESSOR CPU;
    my_process : PROCESS my_process.impl;
PROPERTIES
Actual_Processor_Binding =>
          ( reference(my_platform) )
            applies to my_process;
END synchronous.others;
```

```
PROCESSOR CPU
PROPERTIES
    Scheduling_Protocol => (RMS);
END CPU;

PROCESS my_process
END my_process;
```

Exemple (2/2)

```
PROCESS IMPLEMENTATION my_process.impl
SUBCOMPONENTS
T1 : THREAD a_thread
   { Dispatch_Protocol => Periodic;
     Compute_Execution_Time=>5 ms..5 ms;
     Period => 15 ms;
     Deadline => 15 ms; };
T2 : THREAD a_thread
   { Dispatch_Protocol => Periodic;
     Compute_Execution_Time=>5 ms..5 ms;
     Period => 20 ms;
     Deadline => 20 ms; };
T3 : THREAD a_thread
   { Dispatch_Protocol => Periodic;
     Compute_Execution_Time=>5 ms..5 ms;
     Period => 25 ms;
     Deadline => 25 ms; };
END my_process.impl;
```

```
THREAD a_thread
END a_thread;

END synchronous_Pkg;
```

Exploitation avec AADL Inspector

TELECOM ParisTech

AADL inspector (/home/borde/Install/AI-1.5-beta-patched/examples/patterns/synchronous.aadl)

File View Wizards Tools ?

Behavior_Properties | Data_Model | Base_Types | HW | synchronous

```
346 SUBCOMPONENTS
347   T1 : THREAD a_thread
348     { Dispatch_Protocol => Periodic;
349       Compute_Execution_Time => 5 ms .. 5 ms;
350       Period => 15 ms;
351       Deadline => 15 ms; };
352   T2 : THREAD a_thread
353     { Dispatch_Protocol => Periodic;
354       Compute_Execution_Time => 5 ms .. 5 ms;
355       Period => 20 ms;
356       Deadline => 20 ms; };
357   T3 : THREAD a_thread
358     { Dispatch_Protocol => Periodic;
359       Compute_Execution_Time => 5 ms .. 5 ms;
360       Period => 25 ms;
361       Deadline => 25 ms; };
362 CONNECTIONS
363   C0 : PORT input -> T1.input;
364   C1 : PORT T1.output -> T2.input;
365   C2 : PORT T2.output -> T3.input;
366   C3 : PORT T3.output -> output;
367 END my_process.others;
368
369 THREAD a_thread
```

Static Analysis | Schedulability | AI Scripts

CPU, my_process, T1, T2, T3

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70

Static Analysis | Schedulability | AI Scripts

test	entity	
processor utilization factor	root.my_platform.CPU	We can not prove that the tas
worst case task response time	root.my_platform.CPU	All task deadlines will be met
response time	root.my_platform.CPU.my_process.T	15.00000
response time	root.my_platform.CPU.my_process.T	10.00000
response time	root.my_platform.CPU.my_process.T	5.00000

Static Analysis | Schedulability | AI Scripts

test	entity	
Task response time computed from simulatio	root.my_platform.CPU	No deadline missed in the computed scheduling : the ta
Number of preemptions	root.my_platform.CPU	0
Number of context switches	root.my_platform.CPU	46
Task response time computed from simulatio	root.my_platform.CPU.my_process.T	worst = 5, best = 5 and average = 5.00000
Task response time computed from simulatio	root.my_platform.CPU.my_process.T	worst = 10, best = 5 and average = 6.66667
Task response time computed from simulatio	root.my_platform.CPU.my_process.T	worst = 15, best = 5 and average = 9.16667

Modélisation des données partagées

TELECOM ParisTech

- Modélisation structurelle
  - ⌘ Variable globale: sous-composant de catégorie *data* dans une implémentation de composant *process.*
  - ⌘ Accès aux données au niveau des threads: *feature* (i.e. interface) de type *requires data access* sur les thread
  - ⌘ Connections entre les interface des threads et la variable partagée
  - ⌘ Propriétés pour spécifier le mécanisme de protection

- Modélisation comportementale
  - ⌘ Temps de calcul, prise et relâche de verrous

Exemple (1/2)

Type de donnée (pas au sens langage de programmation)

```
DATA pressure
END pressure;

THREAD T
FEATURES
  D1 : REQUIRES DATA ACCESS pressure;
END T;
```

```
THREAD IMPLEMENTATION T.i1
PROPERTIES
  Dispatch_Protocol => Periodic;
  Compute_Execution_Time => 8ms..8ms;
  Period => 15 ms;
ANNEX Behavior_Specification {**
  states
    s : initial complete final state;
  transitions
    t : s -[on dispatch]-> s {
      D1 !<;
      computation(2ms);
      D1 !>
    };
**};
END T.i1;
```

Exemple (1/2)

```
DATA pressure
END pressure;

THREAD T
FEATURES
  D1 : REQUIRES DATA ACCESS pressure;
END T;
```

```
THREAD IMPLEMENTATION T.i1
PROPERTIES
  Dispatch_Protocol => Periodic;
  Compute_Execution_Time => 8ms..8ms;
  Period => 15 ms;
ANNEX Behavior_Specification {**
  states
    s : initial complete final state;
  transitions
    t : s -[on dispatch]-> s {
      D1 !<;
      computation(2ms);
      D1 !>
    };
**};
END T.i1;
```

D1 est une interface
d'accès à une donnée de type pressure

Exemple (1/2)

```
DATA pressure
END pressure;

THREAD T
FEATURES
  D1 : REQUIRES DATA ACCESS pressure;
END T;
```

```
THREAD IMPLEMENTATION T.i1
PROPERTIES
  Dispatch_Protocol => Periodic;
  Compute_Execution_Time => 8ms..8ms;
  Period => 15 ms;
ANNEX Behavior_Specification {**
  states
    s : initial complete final state;
  transitions
    t : s -[on dispatch]-> s {
      D1 !<;
      computation(2ms);
      D1 !>
    };
**};
END T.i1;
```

Comportement du thread

Exemple (2/2)

```
PROCESS IMPLEMENTATION my_process.others
SUBCOMPONENTS
  T1 : THREAD T.i1;
  D : DATA pressure {
    Concurrency_Control_Protocol => Priority_Ceiling;
  };
  T2 : THREAD T.i2;
CONNECTIONS
  C1 : DATA ACCESS D -> T1.D1;
  C2 : DATA ACCESS D -> T2.D1;
END my_process.others;
```

Variable globale

Accès à la variable globale

Exemple (2/2)

```
PROCESS IMPLEMENTATION my_process.others
SUBCOMPONENTS
  T1 : THREAD T.i1;
  D : DATA pressure {
    Concurrency_Control_Protocol => Priority_Ceiling;
  };
  T2 : THREAD T.i2;
CONNECTIONS
  C1 : DATA ACCESS D -> T1.D1;
  C2 : DATA ACCESS D -> T2.D1;
END my_process.others;
```

Plus généralement: les features (i.e. interfaces) des composants AADL

Les features— les ports

- Les ports modélisent les échanges d'information.
  - ⌘ data : transport de données ; comme dans un circuit électronique
  - ⌘ event : émission/réception d'un évènement
  - ⌘ event data : évènement + données ; comparable à un message

- les ports peuvent être déclarés en
  - ⌘ entrée (`in`)
  - ⌘ sortie (`out`)
  - ⌘ entrée-sortie (`in out`)

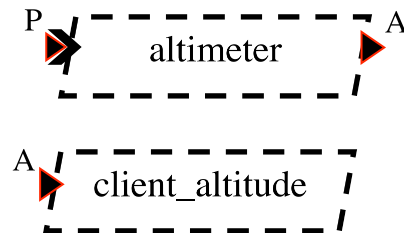
Features: les accès aux composants - 1

- Un composant peut indiquer qu'il requiert (`requires`) ou qu'il fournit (`provides`) un accès à un sous-composant
  - un bus, p.ex. pour un processor ou une memory
  - une data, p.ex. pour une donnée partagée entre plusieurs threads

Exemple de features

```
data pressure
end pressure;

data altitude
end altitude;

thread altimeter
features
  P : in event data port pressure;
  A : out data port altitude;
end altimeter;
```

```
thread client_altitude
features
  A : in data port altitude;
end client_altitude;

device pressure_sensor
features
  P : out event data port pressure;
end pressure_sensor;

subprogram compute_altitude
features
  P : in parameter pressure;
  A : out parameter altitude;
end compute_altitude;
```



Différence de sémantique entre ports, et data access

- La sémantique va être précisé via des propriétés;
- Par défaut:
  - Tous les ports (data/event/event data):
    - La donnée, l'événement, ou le message d'un port « in » sont lus en début d'activation du thread, et le thread travaillera avec cette copie tout au long de son activation
    - La donnée, l'événement, ou le message d'un port « out » sont écrit en fin d'activation du thread
  - Un data port
    - pas de file d'attente
  - Un event ou event data port:
    - File d'attente
    - Les message non-utilisé pendant une activation sont perdus en fin d'activation
  - Un data access:
    - Accès en lecture/écriture avec lecture à n'importe quel moment de l'activation
    - Accès non-protégé

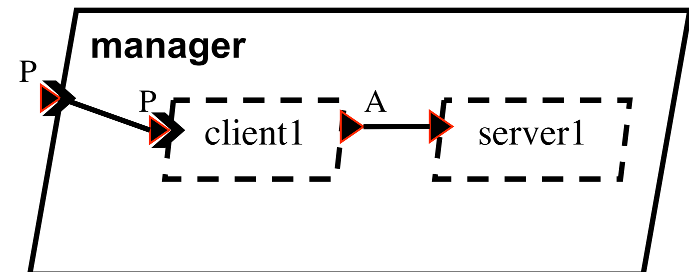
Les connexions des composants AADL

Les connexions

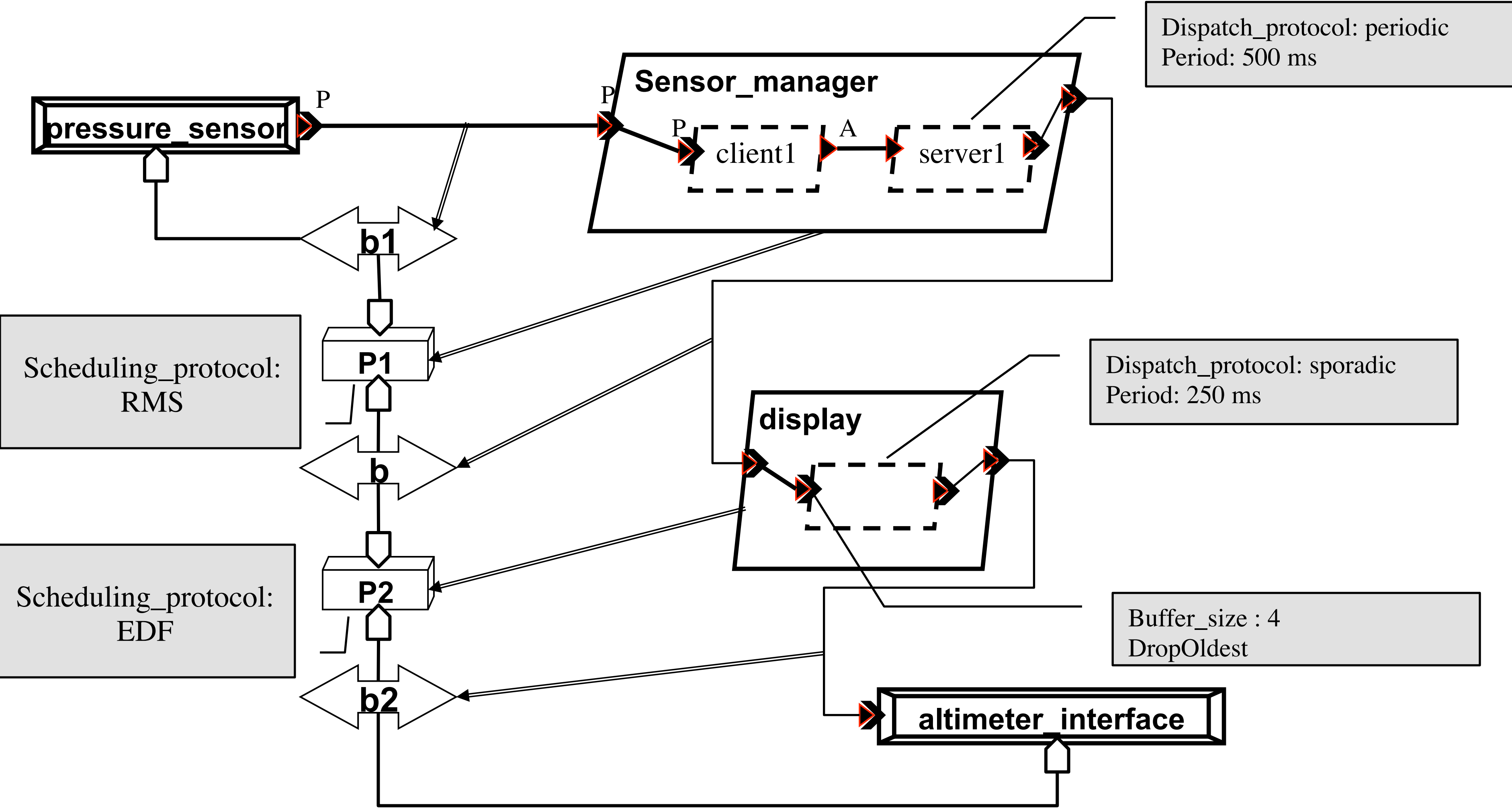
- Pour relier les « features » entre elles
  - ⌘ ports
  - ⌘ paramètres
  - ⌘ sous-programmes d'interface
  - ⌘ accès aux sous-composants
  - ⌘ groupes de ports
- Les connexions sont définies dans les implementations de composants
- Les features de sortie peuvent être « 1 vers n »
- `event data ports` & `event ports` entrants
  - ⌘ « n vers 1 » car gestion de files d'attente
- les autres features entrantes
  - ⌘ « 1 vers 1 »

Exemple de connexion

```
process manager
features
  P : in event data port pressure;
end manager;

thread implementation altimeter.basic
calls {
  appli : subprogram compute_altitude;
};
connections
  parameter P -> appli.P;
  parameter appli.A -> A;
end altimeter.basic;

process implementation manager.altitude
subcomponents
  client1 : thread client_altitude;
  server1 : thread altimeter.basic;
connections
  pressure_input : event data port P -> server1.P;
  data port server1.A -> client1.A;
end manager.altitude;
```



Exemple complet: altimètre



Structuration d’une modélisation AADL

Instanciation de l'architecture

TELECOM ParisTech

- Une description AADL est une suite de déclarations

- Pour exploiter un modèle AADL, il est nécessaire de disposer de son modèle d'instance

    - ⌘ arborescence d'instances de composants AADL correspond aux déclarations de sous-composants
        - Valeurs de propriétés résolues

    - ⌘ filtre les éléments de la description qui ne sont pas référencés à partir du système racine

Example de modèle d'instance en AADL

- Une modélisation AADL est un ensemble de déclarations de composants
- Les sous-composants sont des instances des déclarations
- Un système doit jouer le rôle de racine pour l'architecture
  - pas d'interface
  - une implémentation contenant les sous-composants

```
system global_system
end global_system;

system implementation global_system.two_machines
Subcomponents
  machine_1 : system machines::a_machine.mono_processor;
  machine_2 : system machines::a_machine;
end global_system.two_machines;
```

Organisation d’une description

- Les paquetages (packages)
  - ⌘ matérialisent des espaces de nom
  - ⌘ une partie publique : visible de partout
  - ⌘ une partie privée : uniquement visible depuis le paquetage
- Les systèmes permettent de structurer l’architecture
- Les paquetages permettent de structurer la description

Exemple d'utilisation des paquetages

```
package machines
public
  system a_machine
  end a_machine;

  system implementation a_machine.mono_processor
  subcomponents
    the_processor : processor machines::elements::a_processor.specific;
  end a_machine.mono_processor;
private
  system a_private_machine
  end a_private_machine;
end machines;

package machines::elements
public
  processor a_processor
  end a_processor;

  processor implementation a_processor.specific
  end a_processor.specific;
end machines::elements;
```

Modélisation du comportement des threads et subprograms en AADL

Appels de sous-programmes

- Une implantation de sous-programme ou de thread peut contenir des séquences d'appels à des sous-programmes
- L'ordre des appels est important
- Premier niveau de description du flux d'exécution dans les composants

```
subprogram spg1 end spg1;
subprogram spg2 end spg2;
thread a_thread end a_thread;

thread implementation a_thread.example
calls {
  call1 : subprogram spg1;
  call2 : subprogram spg2;
  call3 : subprogram spg1;
};
end a_thread.example;
```

Représenter un passage de paramètres

```
data a_data
end a_data;

subprogram prog1
features
  input : in parameter a_data;
  output : out parameter a_data;
end prog1;

subprogram prog2
features
  input : in parameter a_data;
  output : out parameter a_data;
end prog2;
```

```
subprogram implementation prog2.impl
calls {
  a_call : subprogram prog1;
};
connections
  parameter input -> a_call.input;
  parameter a_call.output -> output;
end prog2.impl;
```

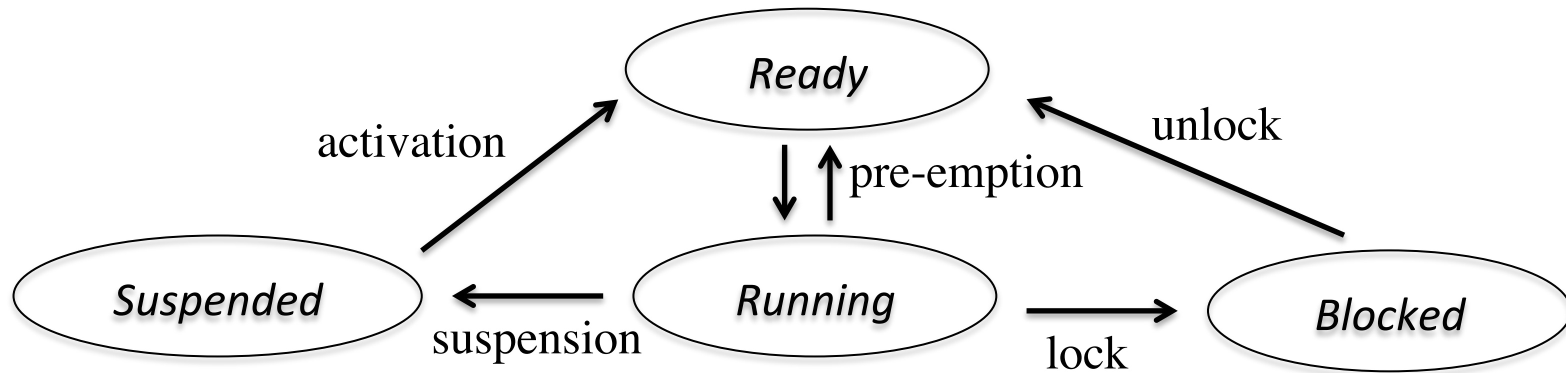
Annexe comportementale

TELECOM ParisTech

- Annexe standardisée
- Modéliser le comportement logiciel (thread, sous-programmes) par le biais de machines à état
- Une clause comportementale AADL est composée de trois parties:
  - ⌘ Déclaration des états
  - ⌘ Déclaration des transition entre ces états
  - ⌘ Déclaration des variables

Les états d'une tâches

- Dans une analyse d'ordonnancement, on considère un système dans lequel un seul processus est constitué de N tâches (ou *threads*)
- Une tâche a quatre états:

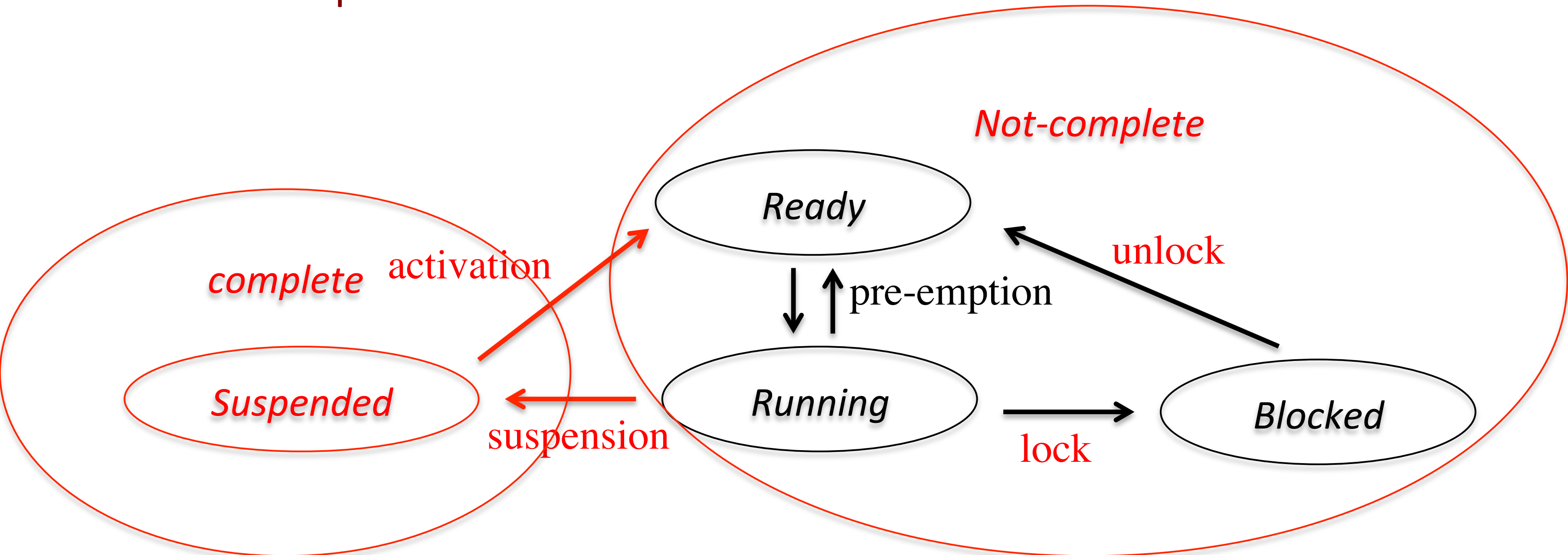


Remarques:

- les état « Bloqué » et « Suspendue » sont très similaires, et auraient pu être confondus. On distingue cependant ces deux états pour identifié
  - le cas où la tâche a fini son exécution et attend la prochaine activation (*suspended*)
  - le cas où la tâche est bloquée sur une entrée/sortie (*blocked*) mais n'a pas fini son exécution.
- Le seul cas de blocage considéré ici correspond à l'usage de verrous
- Les tâches *ready* sont répertoriés dans une *« ready queue »:* une ou plusieurs files d'attente.

Les états d'une tâches

- Une tâche a quatre états:



Remarques:

- Les éléments en rouge son ceux qu'on va modéliser explicitement avec l'annexe comportementale de AADL
- Ici complete fait référence à un mot clé de l'annexe comportementale AADL (voir slide suivant)

Les états dans l'annexe comportementale

TELECOM ParisTech

- **Initial**, correspond à l'état dans lequel se trouve le composant après initialisation
- **Final**, correspond à l'état dans lequel se trouve le composant après finalisation (retour d'un appel de fonction ou finalisation d'une tâche)
- **Complete**, utilisable pour les threads seulement: correspond à un état dans lequel le thread n'utilise pas la ressource d'exécution (préempté, attente passive, etc…)

- Une clause comportementale doit contenir un état initial et au moins un état final
  - L'état final et initial peuvent être le même

- Un état *complete* correspond à l'état *suspended* vu précédemment
- Un état *non-complete* correspond à l'état *running, blocked ou ready* vu précédemment

Les transitions dans l'annexe comportementale

- Un Etat source
- Une ensemble de conditions
  - ⌘ conditions d'exécution, correspondant à un switch/case dans l'exécution d'une fonctionnalité
    - Une condition peut porter sur le contenu d'un port, d'un paramètre, d'une donnée, d'une propriété, etc…
  - ⌘ conditions de dispatch, correspondant aux conditions de réveil d'un thread à partir d'un état *complete* donné
    - à mettre en regard de la propriété dispatch_protocol du thread (Periodic, Sporadic, Aperiodic, Timed ou Hybrid)
- Un état cible
- Un ensemble d'actions
  - ⌘ Séquence d'actions pouvant contenir une structure de contrôle (if/then/else; while; do … until) et des interactions avec l'environnement d'exécution
  - ⌘ Les conditions dans les structures de contrôle des actions sont similaires à des conditions d'exécution

Interaction des clauses comportementales avec l’environnement d’exécution AADL

TELECOM ParisTech

- Appel de sous-programmes: sub!(v1, v2, r1);
- Computation (10 ms); représente un calcul de 10 ms
- p! sur un port de sortie p permet d’envoyer le message contenu dans p; p!(v) permet d’envoyer le message v à travers p
- p? sur un port d’entrée permet de lire les message contenus dans le buffer associé à p;
  - Le contenu de la valeur retourné dépend du protocole associé au port (propriété *Dequeue_Protocol*)
- p'count et p’fresh pour connaitre l’état d’un buffer correspondant à un port p
  - p'count retourne le nombre d’éléments dans le buffer
  - p'fresh retourne true si la valeur a été mise à jour depuis sa dernière utilisation; false sinon

Exemple d'utilisation de l'annexe comportementale

TELECOM ParisTech

```
Thread controller_task
  features
    P_i: in event port;
    P_o: out event port;
    A_i: in event port;
    A_o: out event port;
end controller_task;
```

```
thread implementation controller_task.impl
  properties
    Dispatch_Protocol => Timed;
    Period => 1000 ms;
  annex Behavior_Specification {**
    states
      idle: initial complete final state;
      detect_P: state;

    transitions
      idle -[on dispatch A]-> detect_P {
                            while (P_i'count != 0) {P_i?};
                            A_i?;
                            A_o!;
                            Computation(20 ms)};
      detect_P -[P_i'count > 0]-> idle {
                       while (P_i'count != 0) {P_i?};
          };
      detect_P -[P_i'count = 0]-> idle {
                       P_o!
          };
      idle -[on dispatch Period]-> idle;
  **};
end controller_task.impl;
```

AADL pour la description de systèmes ARINC653

Exemple d'utilisation: modéliser une architecture avionique

- Que doit-on représenter?
  - ⌘ Les partitions, et leur configuration (mémoire, partition windows, etc…)

```
SYSTEM IMPLEMENTATION monoProc.impl
SUBCOMPONENTS
  root_main_memory_inst : MEMORY root_main_memory.impl;
  train_inst : PROCESS train.impl;
  railway_inst : PROCESS railway.impl;
  root_inst : PROCESSOR root.impl;
END monoProc.impl;

PROCESSOR root
END root;

PROCESSOR IMPLEMENTATION root.impl
SUBCOMPONENTS
  VP_train_inst : VIRTUAL PROCESSOR VP_train.impl;
  VP_railway_inst : VIRTUAL PROCESSOR VP_railway.impl;
PROPERTIES
   Scheduling_Protocol => (ARINC653);
   ARINC653::Module_Schedule => (
    [ Partition => reference(VP_train_inst );
      Duration => 250 ms;],
    [ Partition => reference(VP_railway_inst );
      Duration => 250 ms;] );
  ARINC653::Module_Major_Frame => 500 ms;
END root.impl;
```

Représentation logique d'une partition (espace d'adressage)

Représentation physique d'une partition (machine virtuelle)

Exemple d'utilisation: modéliser une architecture avionique

- Que doit-on représenter?
  - Les partitions, et leur configuration (mémoire, partition windows, etc…)
  - Les tâches de chaque partition, et leur configuration (périodique? Periode, priorité, etc…)

```
PROCESS IMPLEMENTATION railway.impl
SUBCOMPONENTS
  trainPositionsCorrelation : THREAD trainPositionsCorrelation_Thread.impl;
  viuTrainPositionEstimation : THREAD viuTrainPositionEstimation_Thread.impl;
  trainSimulation : THREAD trainSimulation_Thread.impl;
  delayed_trainDataIn : THREAD delayed_trainDataIn_Thread.impl;
PROPERTIES
  Data_Size => 200KByte;
  Code_Size => 200KByte;
  Dispatch_Protocol => Periodic APPLIES TO trainPositionsCorrelation;
  Priority => 3 APPLIES TO trainPositionsCorrelation;
  Period => 600ms APPLIES TO trainPositionsCorrelation;
  Stack_Size => 40KByte APPLIES TO trainPositionsCorrelation;
…
END railway.impl;
```

Utilisation du modèle obtenu

- Spécification, documentation, conception

- Analyse à ce niveau de modélisation
  - ⌘ Ordonnançabilité gros grain (modèle de tâches, propriétés)
  - ⌘ Cohérence du dimensionnement (capacité/demande mémoire)
  - ⌘ Model-checking?
  - ⌘ Génération de code?

Exemple d'utilisation: modéliser une architecture avionique

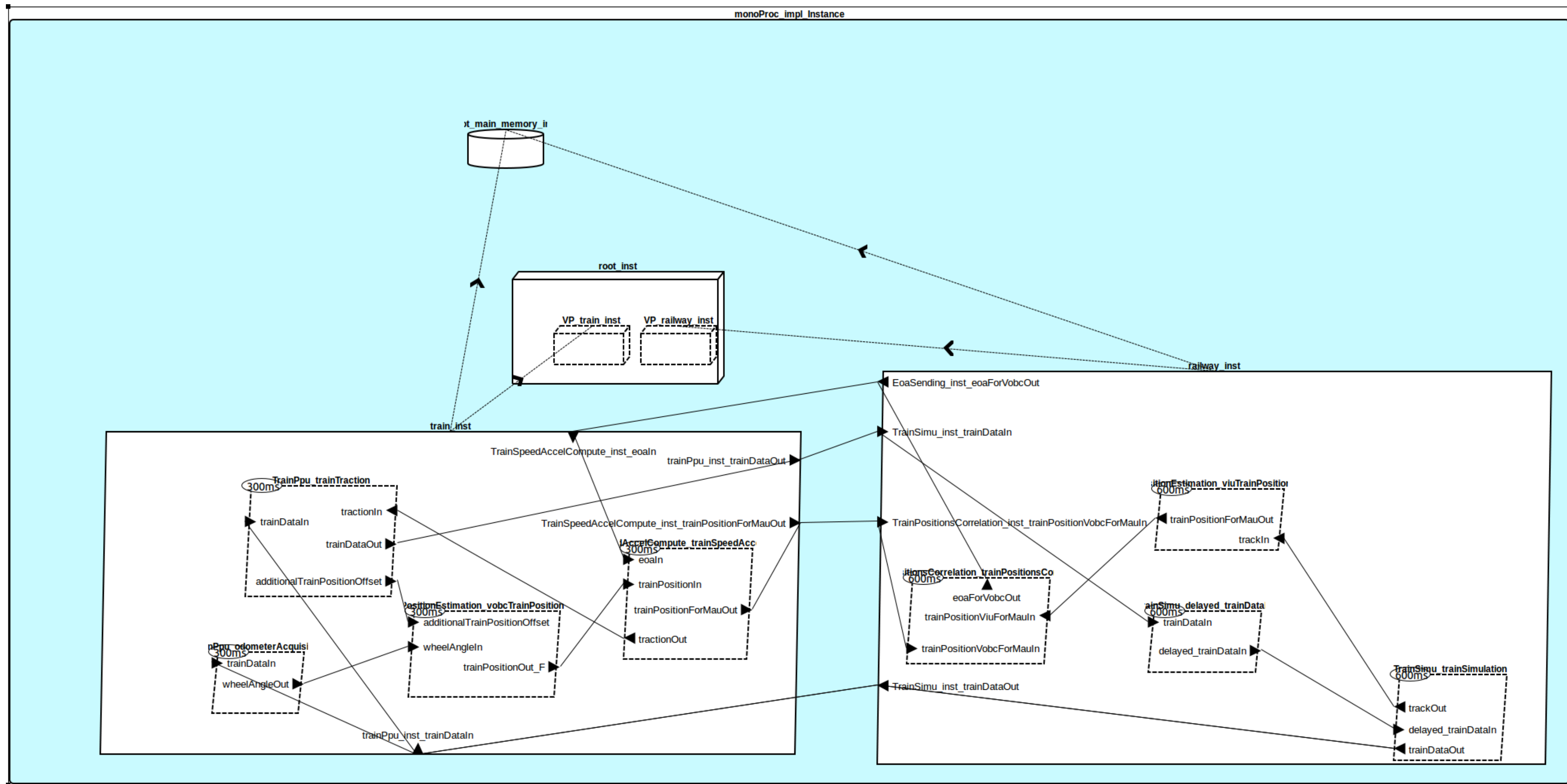
TELECOM ParisTech

- Que doit-on représenter?
  - ⌘ Les partitions, et leur configuration (mémoire, partition windows, etc…)
  - ⌘ Les tâches de chaque partition, et leur configuration (périodique? Periode, priorité, etc…)

- Que manque-t-il pour aller plus loin?
  - ⌘ Les canaux de communication,
  - ⌘ Le déploiement (mémoire et processeur)
  - ⌘ Comportement des tâches...

Présenté précédemment

Vue graphique d'un cas d'étude avionique (synthétique mais imprécise)



Utilisation du modèle obtenu

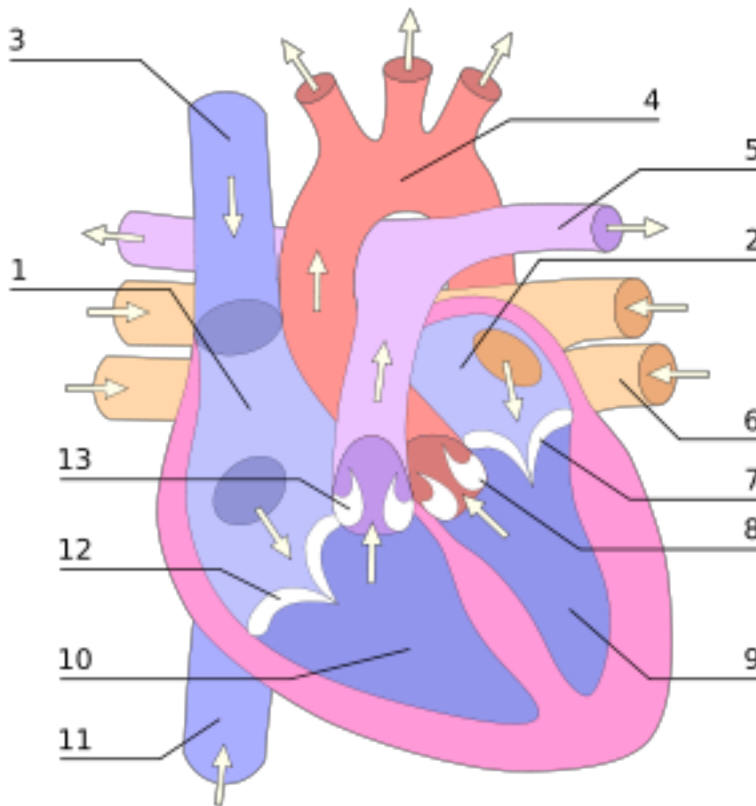
- Spécification, documentation, conception

- Analyse supplémentaire à ce niveau de modélisation
  - ⌘ Cohérence du modèle (connexions des ports par ex.)
  - ⌘ Complétude de la configuration ARINC
  - ⌘ Génération de la configuration XML ARINC

- Que manque t-il pour aller plus loin?
  - ⌘ La modélisation du comportement des tâches

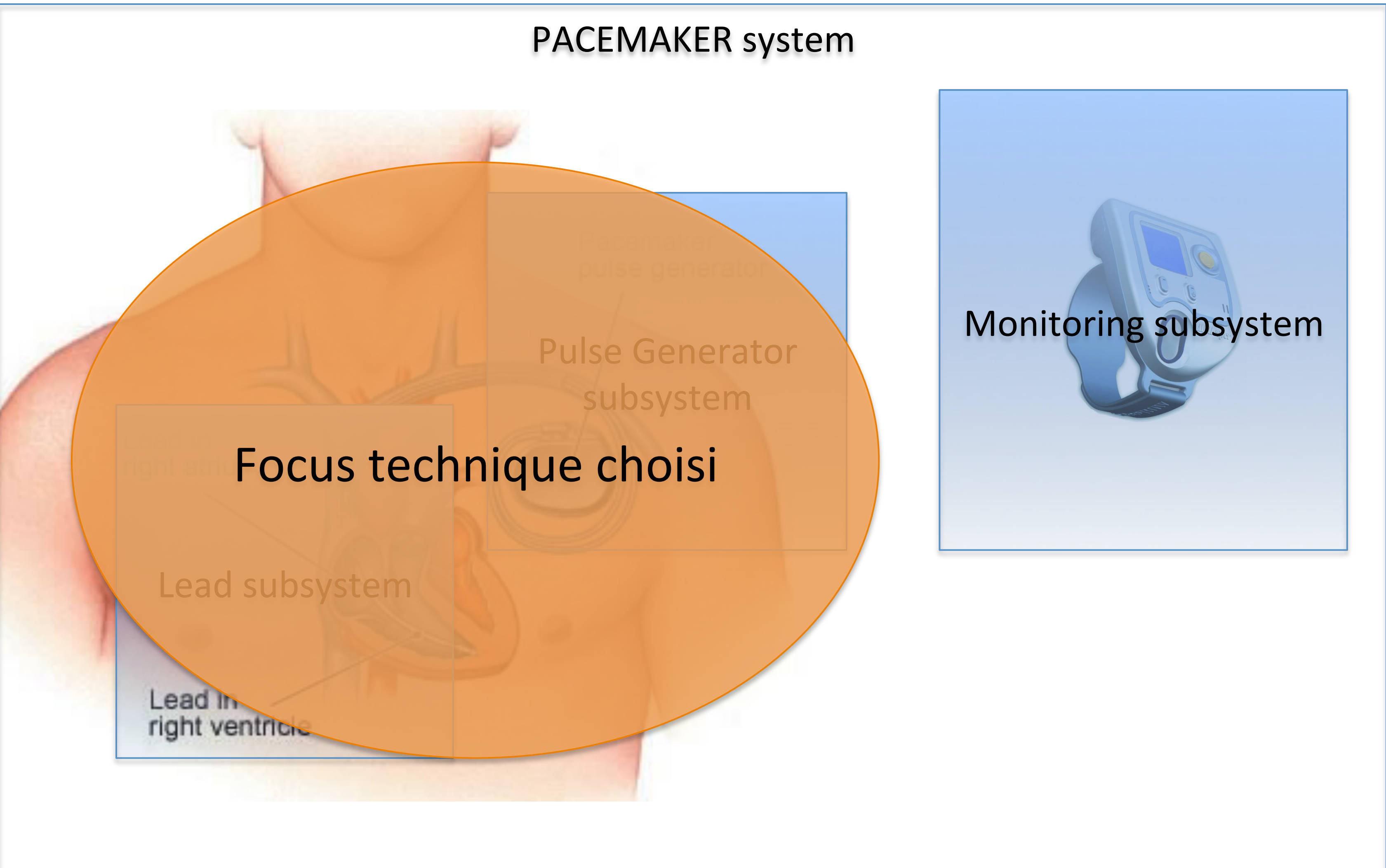
Exemple complet: conception et vérification d'un pacemaker

Bref rappel de biologie



1. Atrium droit
2. Atrium gauche
3. Veine cave supérieure
4. Aorte
5. Artère pulmonaire
6. Veine pulmonaire
7. Valve mitrale (atrio-ventriculaire)
8. Valve aortique
9. Ventricule gauche
10. Ventricule droit
11. Veine cave inférieure
12. Valve tricuspide (atrio-ventriculaire)
13. Valve sigmoïde (pulmonaire)

Décomposition systèmes/sous-systèmes



Modes

TELECOM ParisTech

The following bradycardia operating modes shall be programmable: Off, DDDR, VDDR, DDIR, DOOR, VOOR, AOOR, VVIR, AAIR, DDD, VDD, DDI, DOO, VOO, AOO, VVI, AAI, VVT and AAT.

	I	II	III	IV (optional)
Category	**Chambers Paced**	**Chambers Sensed**	**Response To Sensing**	**Rate Modulation**
Letters	O–None A–Atrium V–Ventricle D–Dual	O–None A–Atrium V–Ventricle D–Dual	O–None T–Triggered I–Inhibited D–Tracked	R–Rate Modulation

Table 2: Bradycardia Operating Modes

Exigences temporelles

Parameter	AAT	VVT	AOO	AAI	VOO	VVI	VDD	DOO	DDI	DDD	AOOR	AAIR	VOOR	VVIR	VDDR	DOOR	DDIR	DDDR
Lower Rate Limit	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Upper Rate Limit	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Maximum Sensor Rate											X	X	X	X	X	X	X	X
Fixed AV Delay							X	X	X	X					X	X	X	X
Dynamic AV Delay							X			X					X			X
Sensed AV Delay Offset										X								X
Atrial Amplitude	X		X	X				X	X	X	X	X				X	X	X
Ventricular Amplitude		X			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
Atrial Pulse Width	X		X	X				X	X	X	X	X				X	X	X
Ventricular Pulse Width		X			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X
Atrial Sensitivity	X			X					X	X		X					X	X
Ventricular Sensitivity		X				X	X		X	X				X	X		X	X
VRP		X				X	X		X	X				X	X		X	X
ARP	X			X					X	X		X					X	X
PVARP	X			X					X	X		X					X	X
PVARP Extension							X			X					X			X
Hysteresis				X		X				X		X		X				X
Rate Smoothing				X		X	X			X		X		X	X			X
ATR Duration							X			X					X			X
ATR Fallback Mode							X			X					X			X
ATR Fallback Time							X			X					X			X
Activity Threshold											X	X	X	X	X	X	X	X
Reaction Time											X	X	X	X	X	X	X	X
Response Factor											X	X	X	X	X	X	X	X
Recovery Time											X	X	X	X	X	X	X	X

Table 6: Programmable Parameters for Bradycardia Therapy Modes

LRL: rythme minimum de battement

URL: rythme maximum de battement

AV: durée séparant un battement dans l'oreillette d'un battement dans le ventricule

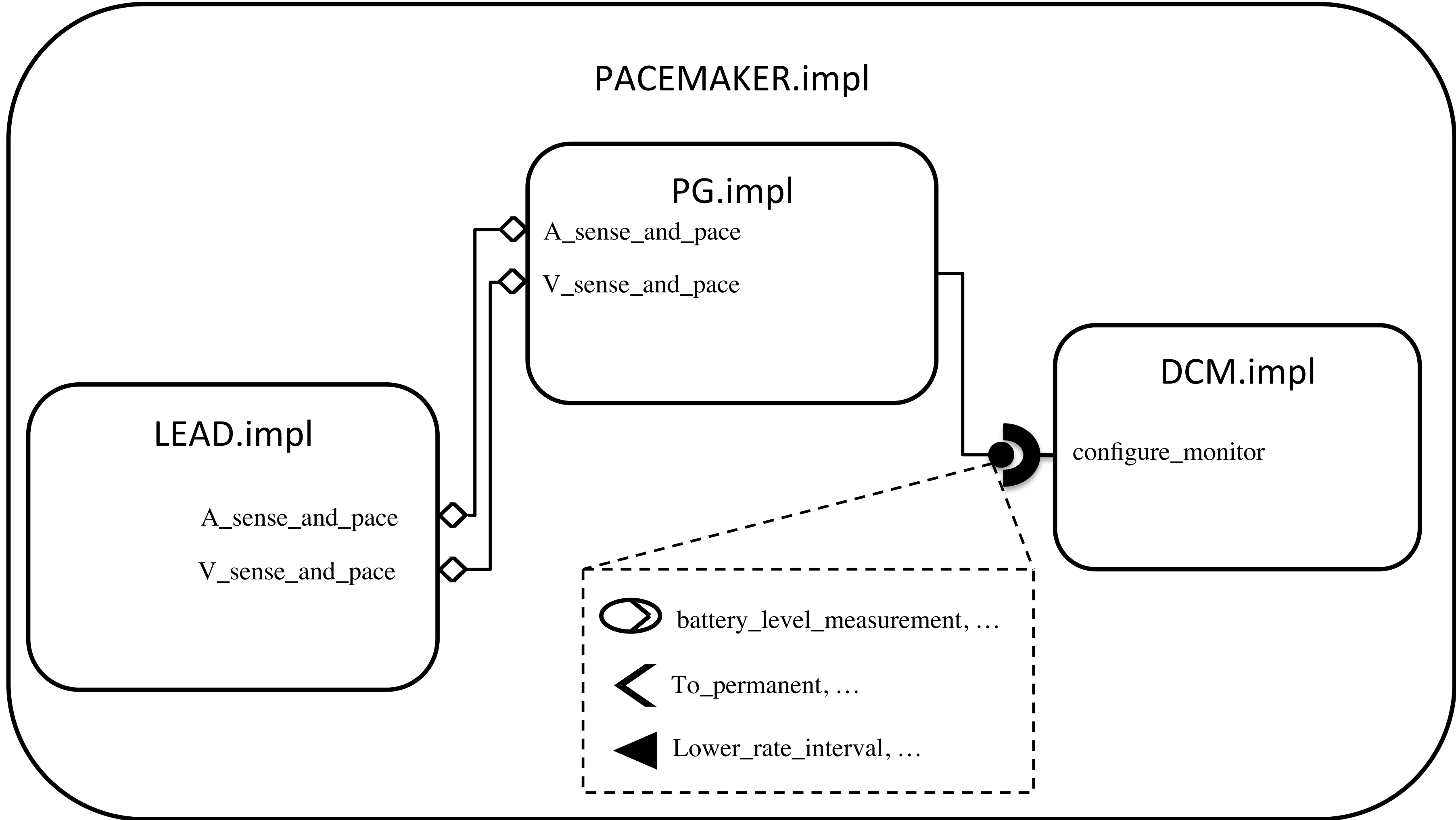
ARP: durée minimale entre deux battements dans l'oreillette

Démarche de modélisation

TELECOM ParisTech

- Décomposition système/sous-système
- Identification des composants logiciels et de leurs interfaces
- Identification des composants matériels et de leurs interfaces
- Description du comportement des composants
  - ⌘ Synchronisation du générateur de pulsation avec le fonctionnement naturel du cœur
  - ⌘ Modes de fonctionnement et transitions de mode

Modèle AADL: système global



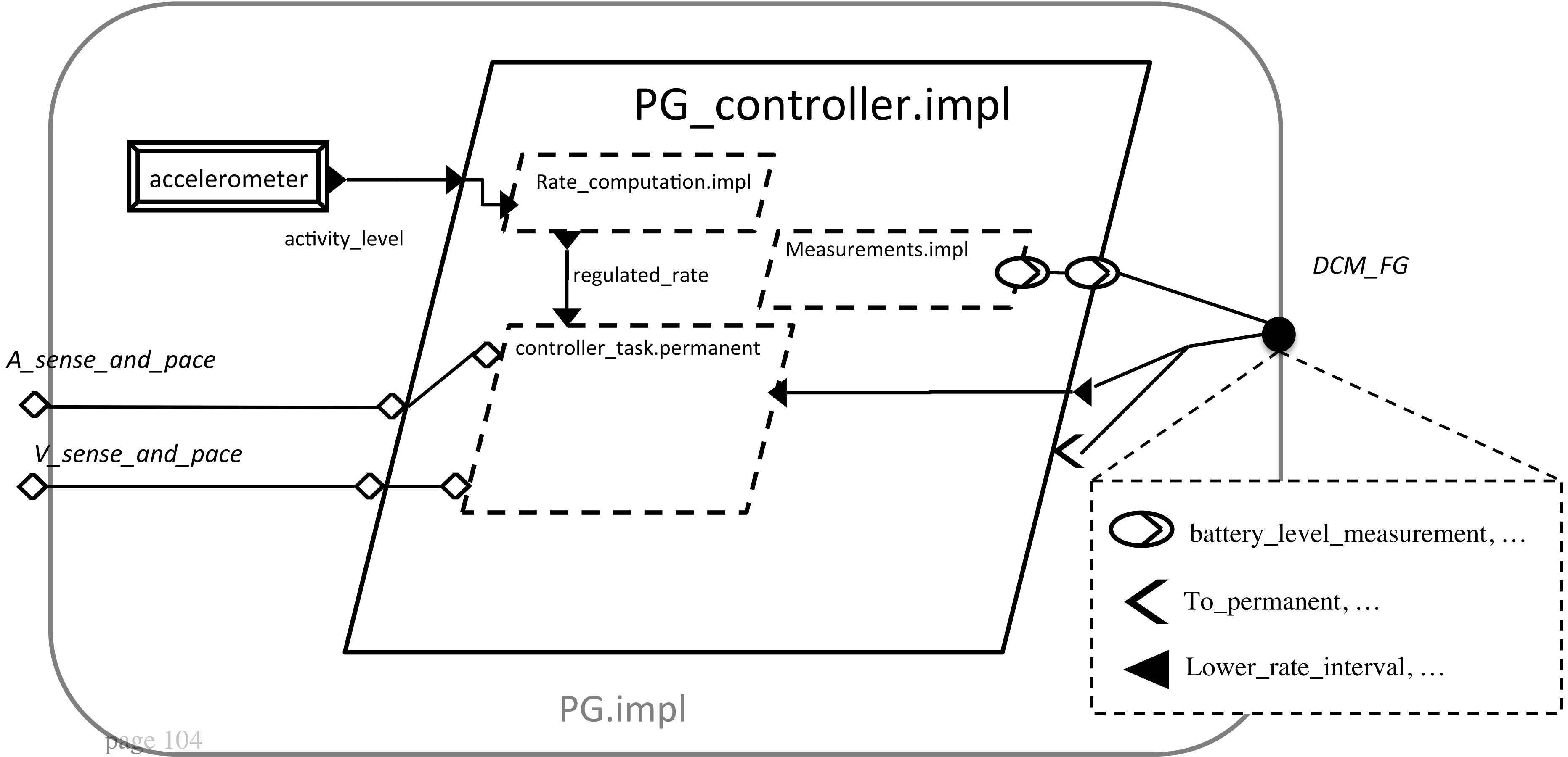
Identification des composants logiciels et de leurs interfaces

TELECOM ParisTech

- Pulse Generator
  - ⌘ Un processus de contrôle
    - Entrées: détection de battements (ventriculaire/atriale)
    - Sorties: stimulation (ventriculaire/atriale)
  - ⌘ Une de tâches de contrôle
    - Mêmes entrées/sorties
  - ⌘ Une ou plusieurs tâches de configuration/supervision pour s'interfacer avec le DCM

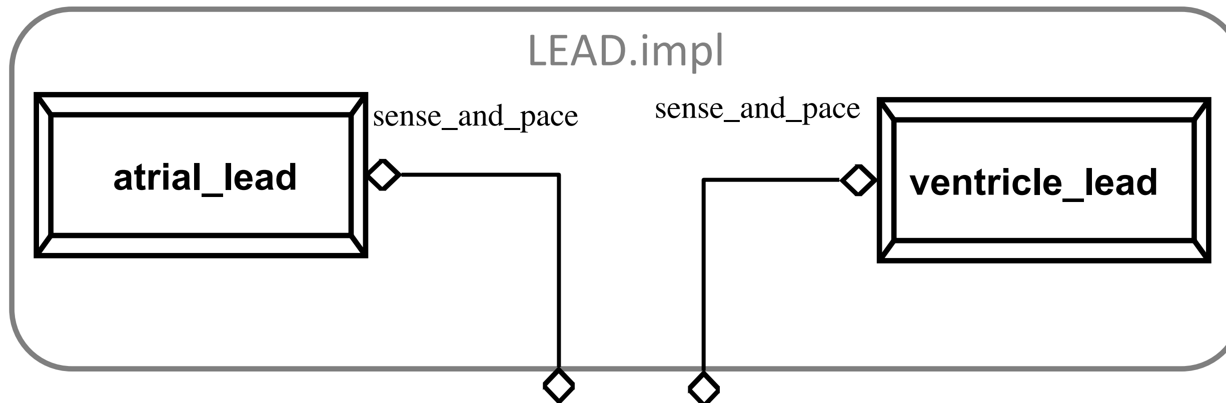
- Ensembles de connections triviales:
  - ⌘ Périphériques de capture → entrées du processus de contrôle
  - ⌘ Sorties du processus de contrôle → périphériques de stimulation

PG: processus de controle



Composants du sous-système LEAD

- **Leads**
  - Capteurs (ventriculaire/atriale) des battements naturels
  - Stimulation (ventriculaire/atriale) du coeur



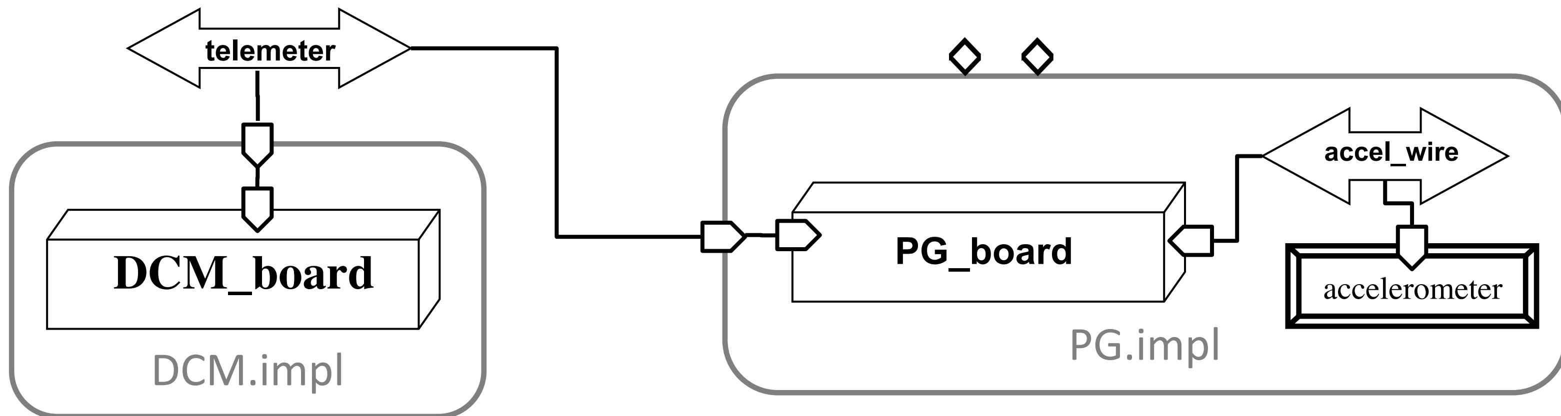
Modèle AADL: Lead system

```
device compartiment_lead
  features
    sense_and_pace: in out event port;
end compartiment_lead;

system implementation LEAD.impl
  subcomponents
    atrial_lead: device compartiment_lead;
    ventricle_lead: device compartiment_lead;
  connections
    atrial_lead. sense_and_pace -> A_sense_and_pace;
    ventricle_lead. sense_and_pace -> V_sense_and_pace;
end LEAD.impl;
```

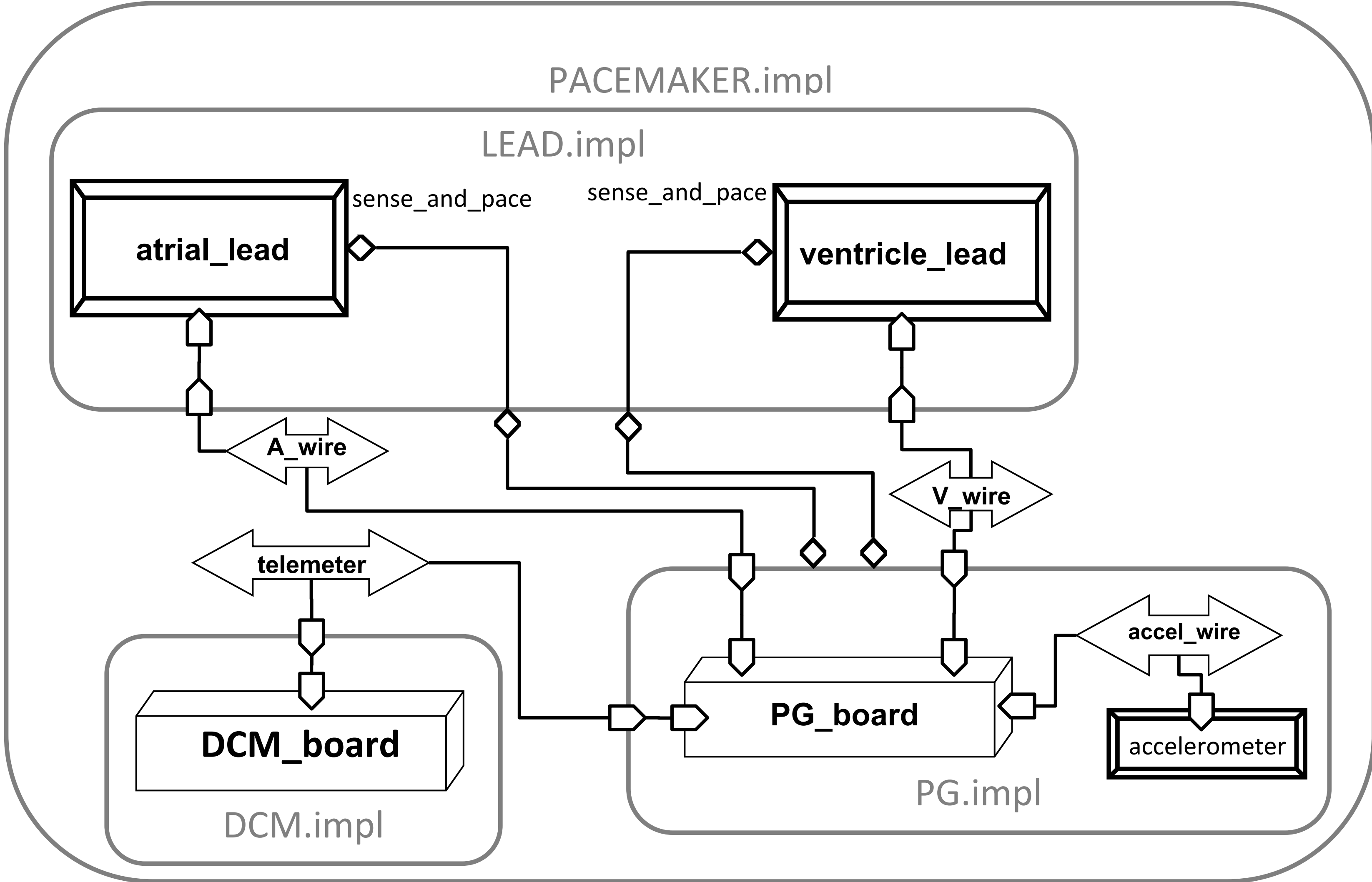
Plate-forme d'execution DCM et PG

TELECOM ParisTech

- Pulse Generator
  - ⌘ Resource d'exécution des fonctionnalités de régulation cardiaque
  - ⌘ Acceleromètre
- DCM
  - ⌘ Resource d'exécution des fonctionnalités de régulation cardiaque
- Medium de communication entre DCM et PG



Composants matériel



Description du comportement

- Prédominance des modes de fonctionnement dans la définition du comportement
- Dont la portée peut-être décomposé en
  - ⌘ Impact des changements de mode sur la structure de l'architecture (composants/interfaces/connections…)
  - ⌘ Impact des changements de mode sur le comportement (périodes/dispatch_protocole/fonctionnalités…)
- Enfin, à mode constant, certains éléments de l'architecture sont "programmable" ou "variable"
  - ⌘ Exp. le rythme de battement (période d'une fonctionnalité) dépend des mouvements de l'utilisateur (données fournis par un accéléromètre)

Ordonnancement des tâches

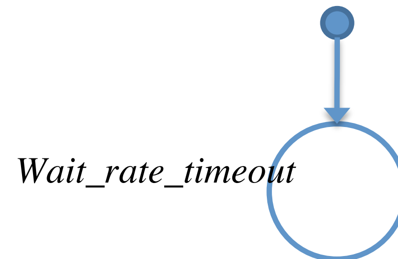
TELECOM ParisTech

- *Scheduling_Protocol, Dispatch_Protocol*, et éventuellement *Period* et *Priority*
  - ⌘ PG_Controller
  - ⌘ Rate_Computation
  - ⌘ Measurements

- Attention à maintenir la cohérence entre les propriétés
  - ⌘ Ex: pas de période pour une tâche apériodique
  - ⌘ Ex: pas de tâche apériodique si la politique d'oronnancement est RMS
  - ⌘ Ex: Period ne peut prendre q'une valeur entière constante

Comportement de la tâche de contrôle dans le mode DOOR

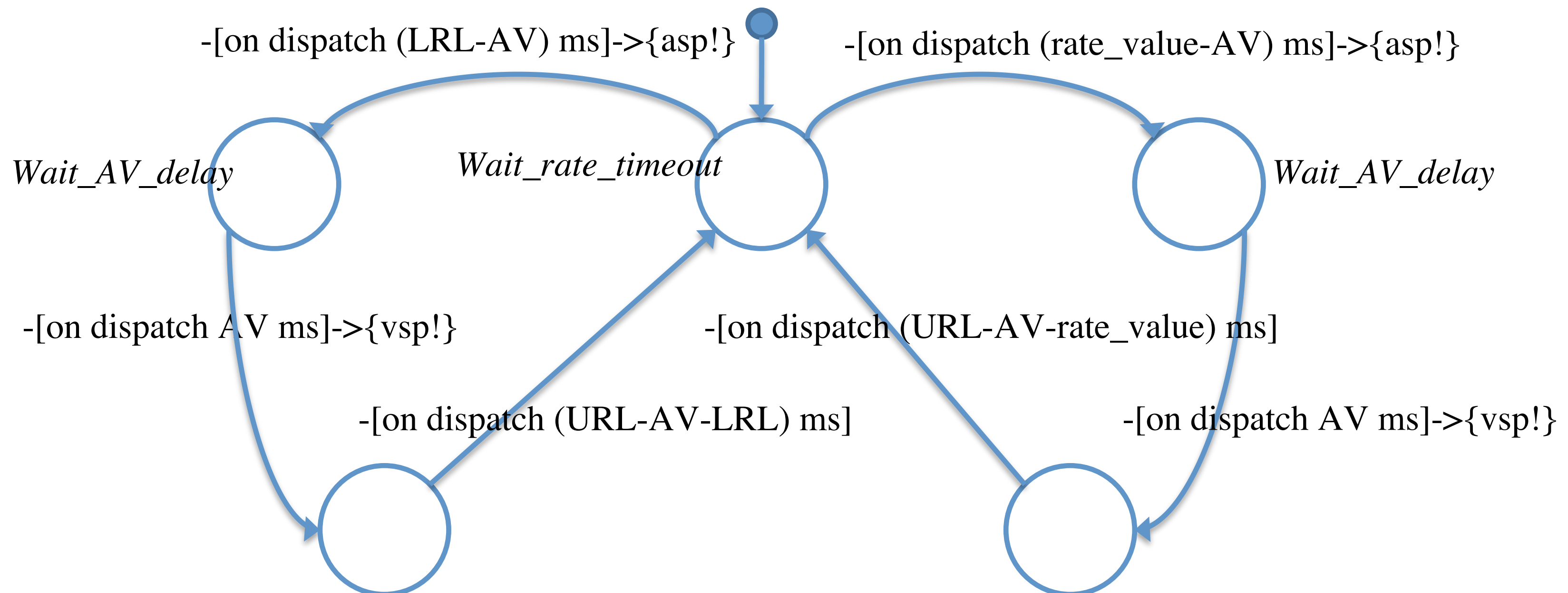
- Contraintes temporelles:
  - ⌘ LRL, AV, URL, et rate_value



Comportement de la tâche de contrôle dans le mode DOOR

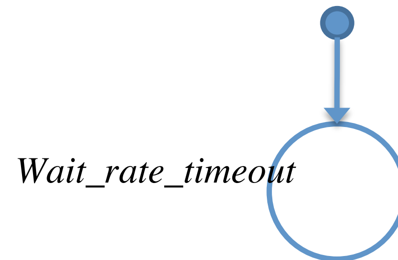
TELECOM ParisTech

- Contraintes temporelles:
  - ⌘ LRL, AV, URL, et rate_value



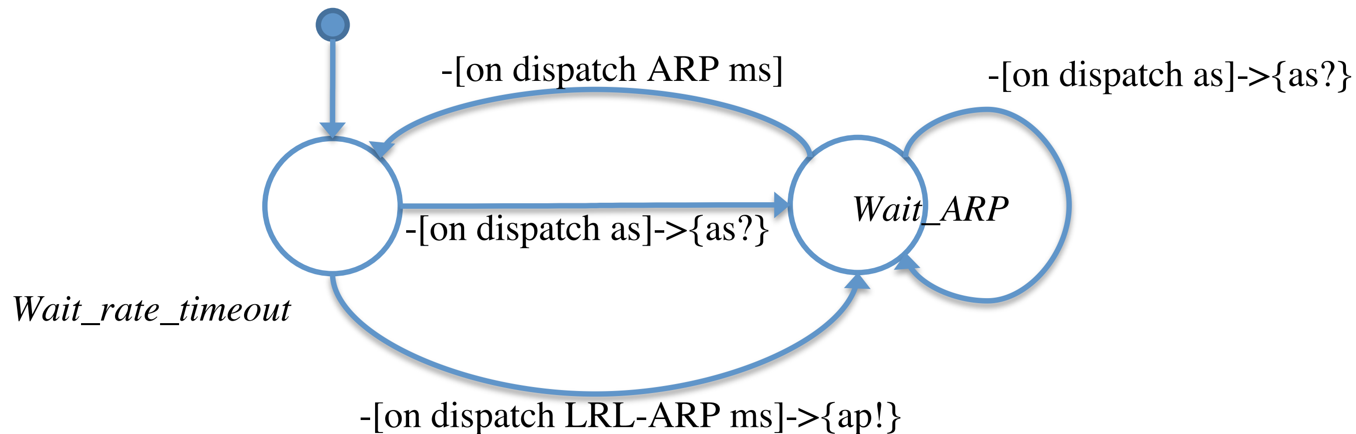
Comportement de la tâche de contrôle dans le mode AAI

- Contraintes temporelles:
  - ⌘ LRL, ARP, et URL



Comportement de la tâche de contrôle dans le mode AAI

- Contraintes temporelles:
  - ⌘ LRL, ARP, et URL



Défauts de la conception: partie comportemetale

- La solution proposée permet-elle d'assurer le respect des exigences temporelles?

- Quelque soient les conditions d'utilisation?

Défauts de la conception: partie comportemetale

TELECOM ParisTech

- La solution proposée permet-elle d'assurer le respect des exigences temporelles?
- Quelque soient les conditions d'utilisation?
  - ⌘ En cas de modification des valeurs LRL, etc… sur les data ports d'un thread ???
- Quelle solution à ce problème?

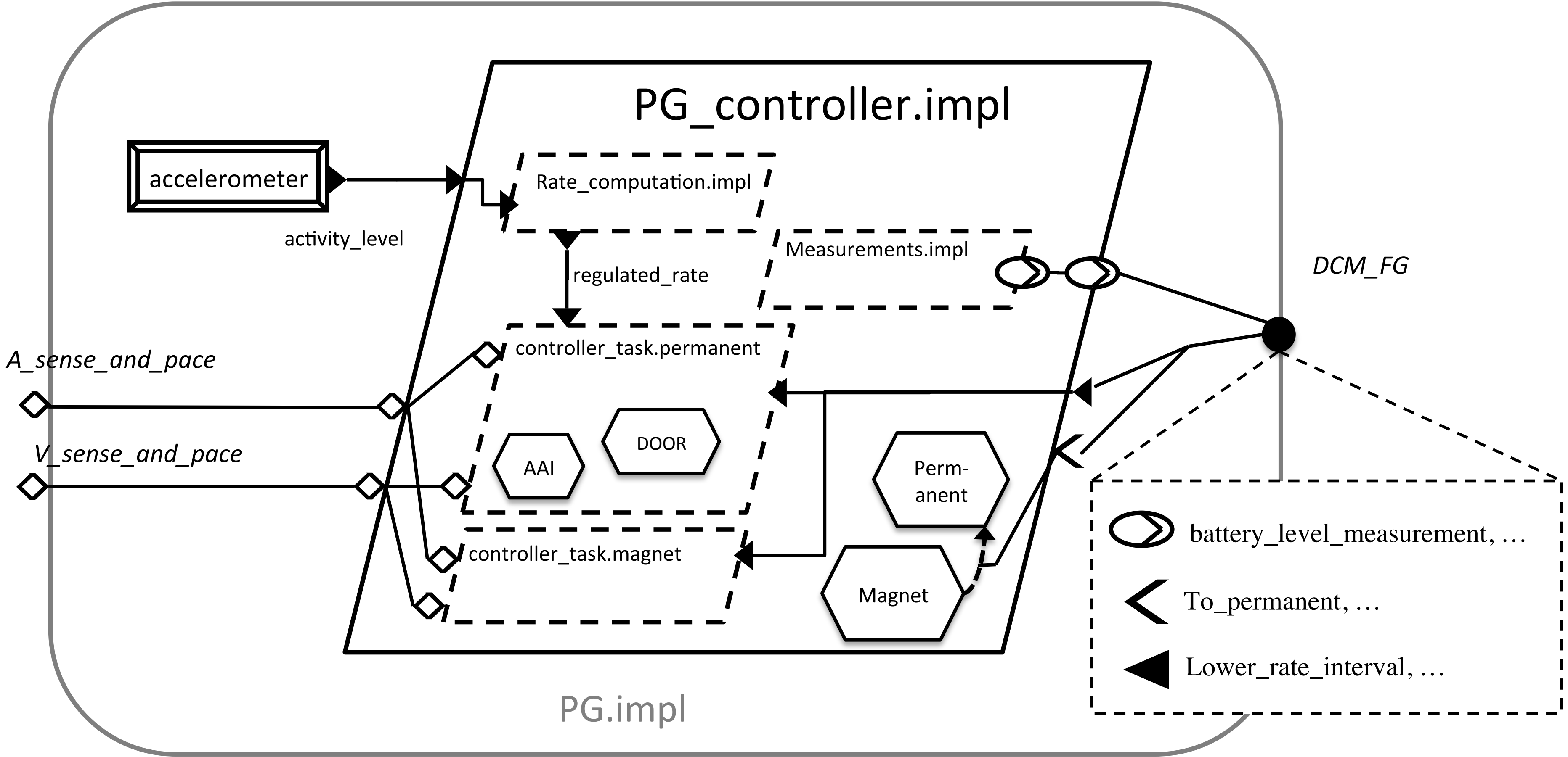
Modes de fonctionnement

Présence importante des modes de fonctionnement

- 5 modes principaux: Permanent/Temporary/Pace-Now/Magnet/Power-On Reset
- + de 30 Sous-modes:
  - Permanent: Off, DDDR, VDDR, DDIR, DOOR, VOOR, AOOR, VVIR, AAIR, DDD, VDD, DDI, DOO, VOO, AOO, VVI, AAI, VVT and AAT.
  - Temporary: OVO, OAO, ODO, and OOO.
  - Pace-Now: VVI.
  - Magnet: AXXX, VXXX, DXXX en fonction du mode source; et sous-modes BOL, ERT, ERN.
  - Power-On reset: VVI.

Modélisation des modes de fonctionnement

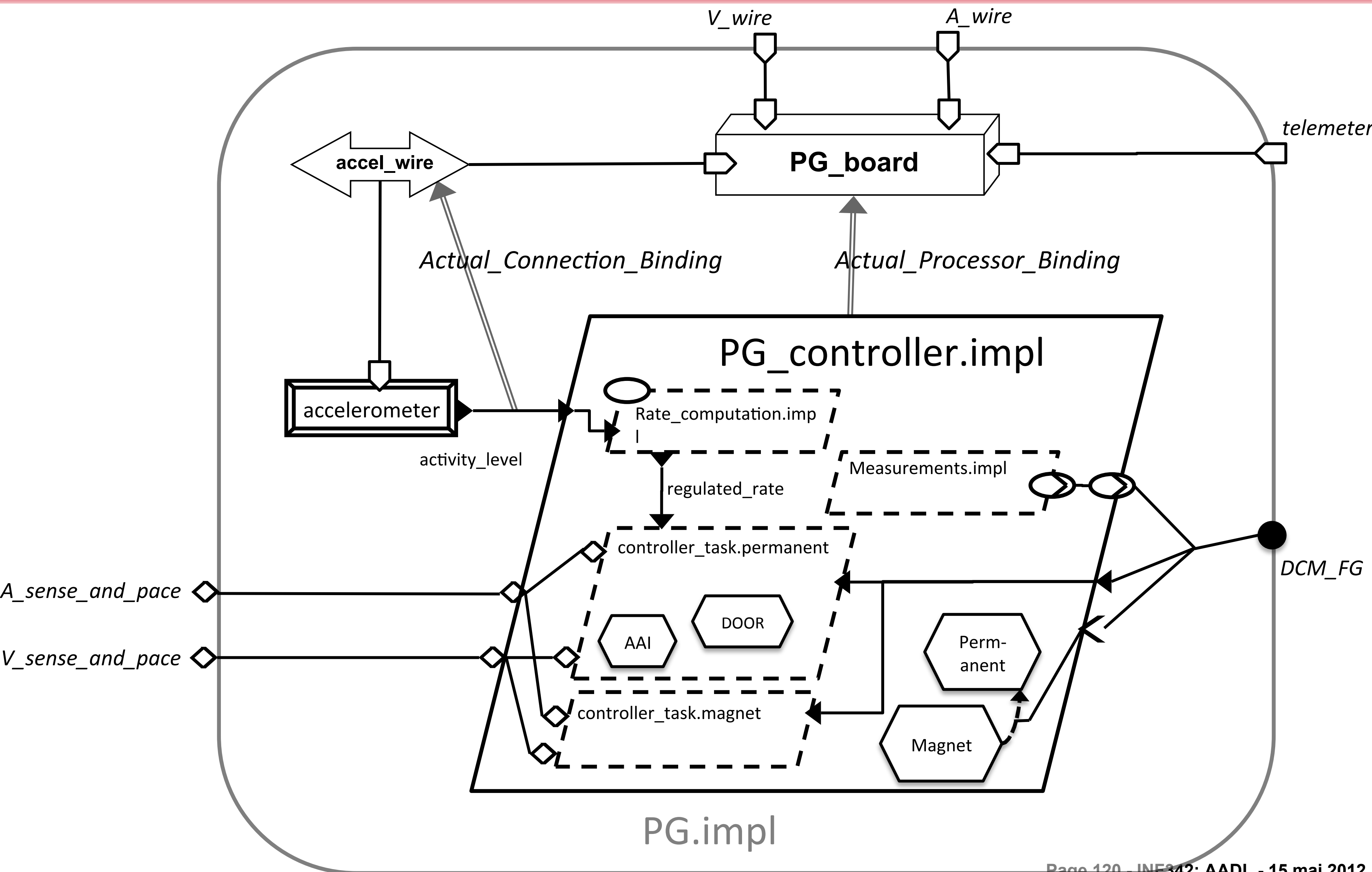
- PG: processus de controle



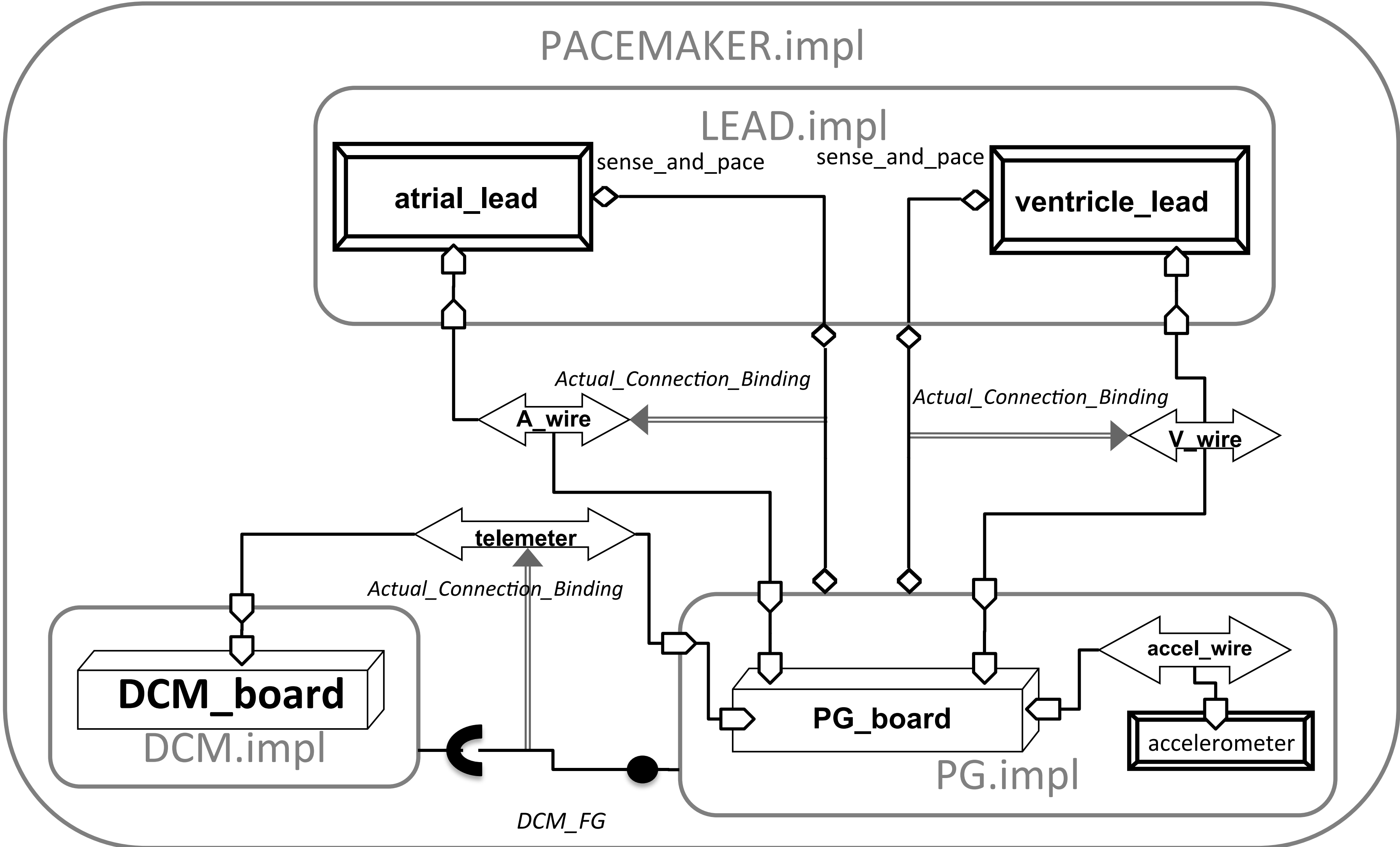
Défauts de la solution

- La solution proposée permet-elle d'assurer le respect des exigences temporelles?
- Quelque soient les conditions d'utilisation?
  - ⌘ En cas de changement de mode ?
- Quelle solution à ce problème?

Architecture du sous-système PG



Architecture matérielle complète



Conclusion concernant ce cas d'étude

TELECOM ParisTech

- Le PACEMAKER est un système beaucoup plus complexe qu'il paraît être de prime abord
- Les information contenus dans la spécification système sont très éloignées de la conception finale
- La modélisation permet de lever des ambiguïtés de fonctionnement à condition d'avoir
  - une expertise forte dans le langage de modélisation choisi
  - une expertise suffisante dans le système à concevoir (donc son domaine d'application
- Quelle exploitation pour ces modèles?
  - Communication
  - Analyse et vérification
  - Génération de code

Conclusions

- Modélisation concrète
  - ⌘ dernière phase avant la génération/déploiement du système
  - ⌘ précision dans la modélisation
  - ⌘ exploitation pour la vérification et la génération de prototypes

- AADL offre une grande souplesse de modélisation
  - ⌘ degré de modélisation selon les besoins
  - ⌘ peut être utilisé comme langage fédérateur
    - exploitation par plusieurs outils différents

- Pour aller plus loin
  - ⌘ Syntaxe AADL complète
  - ⌘ Exemples de modèles AADL:
  - ⌘ Site web AADL:

- Outils
  - ⌘ http://penelope.enst.fr/aadl
  - ⌘ http://beru.univ-brest.fr/~singhoff/cheddar/index-fr.html