
MODELISATION DES SYSTEMES

Pluritechnologiques complexes

LANGAGE SysML

A – Ouikassi

Agrégé de Mécanique

Professeur des SII au CPGE -

Marrakech

Systeme

- Un système est un ensemble de composants inter-reliés qui interagissent les uns avec les autres d'une manière organisée pour accomplir une finalité commune (NASA 1995).
- Un système est un ensemble intégré d'éléments qui accomplissent un objectif défini (INCOSE* 2004).

* INCOSE : Conseil International de l'Ingénierie Systèmes

Systeme

=

Σ Composants

+

Σ Interactions

Systeme pluritechnologique complexe

C'est un système multiphysique dont
le fonctionnement fait appel à plusieurs
disciplines de la physique

(mécanique, électronique, thermique, optique, matériaux innovants ...)

Dans un système complexe :

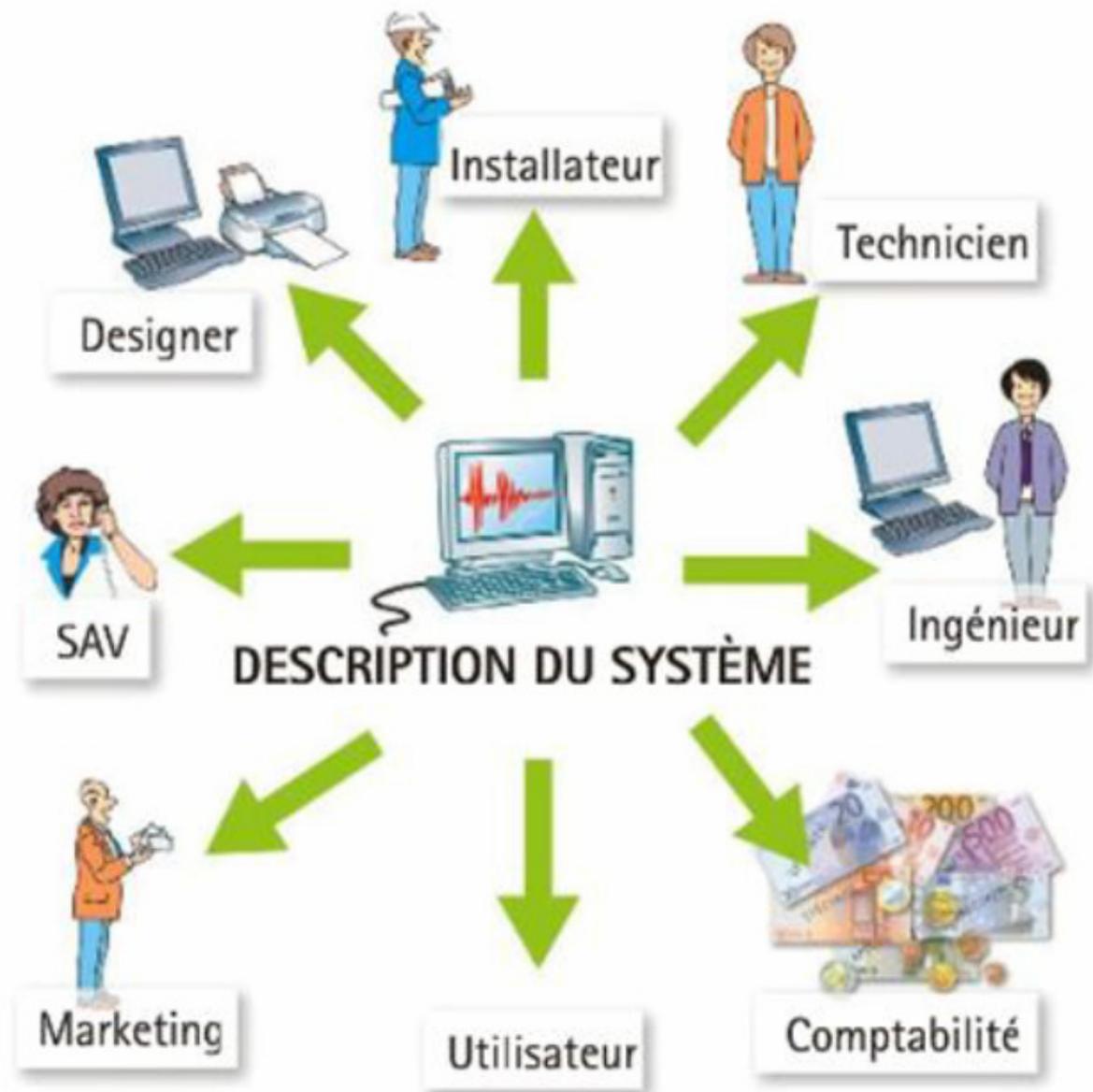
- Les relations liant les composants sont multiples, interdépendantes et bouclées.
 - Le comportement global n'est pas directement prévisible à partir des comportements élémentaires des composants.
-

D'où

L'intérêt de

Ingénierie systèmes (IS)

- L'ingénierie des systèmes est une approche scientifique interdisciplinaire de formation récente, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception de systèmes complexes avec succès
 - Elle intègre tous les intervenants et toutes les méthodes permettant de concevoir et de valider le système vis-à-vis du CDCF
-



L'ensemble du processus industriel va

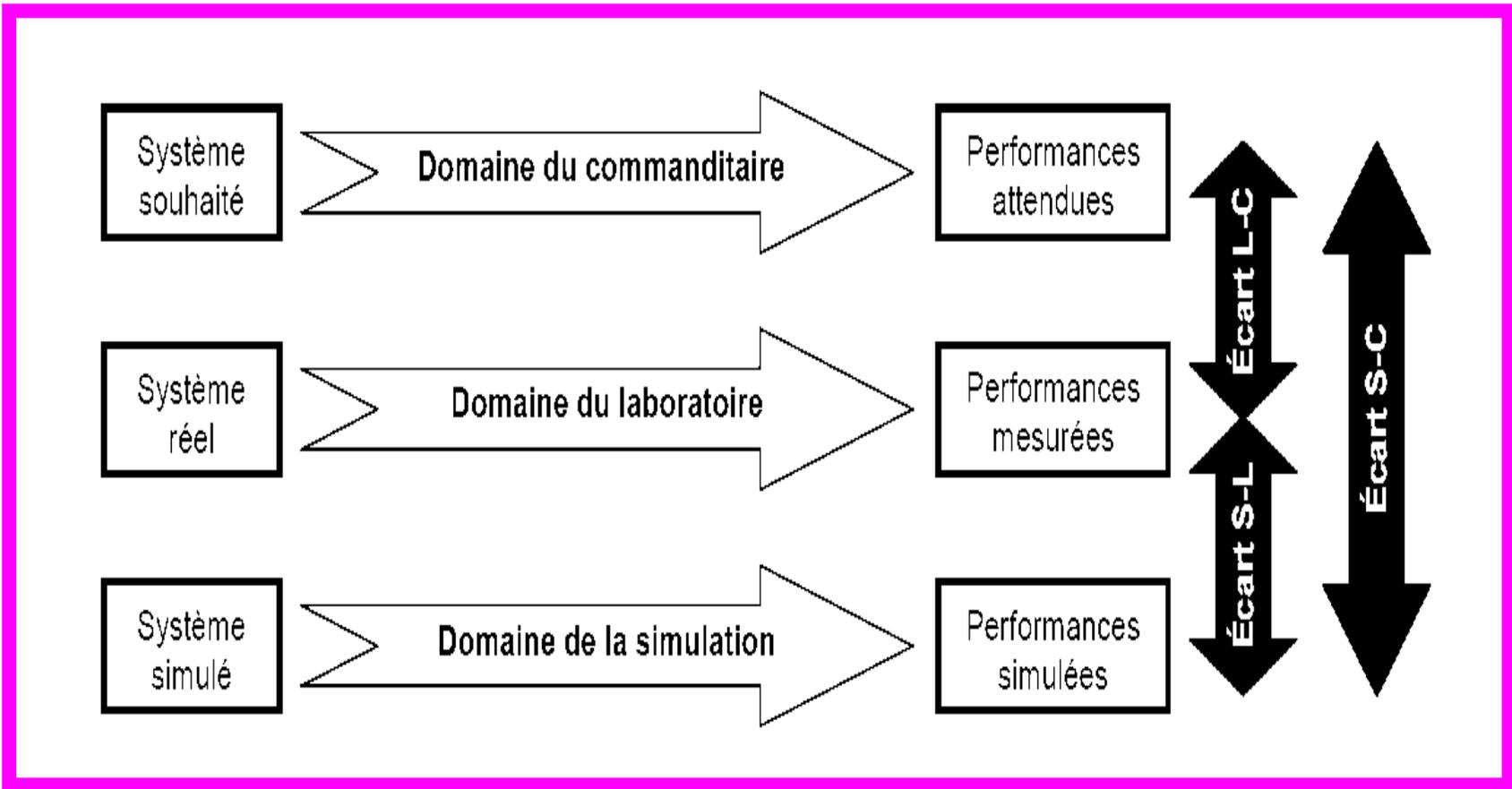
faire naître des

écarts

L-C

S-L

S-C



Le principal problème de l'*ingénierie systèmes*

pourrait être résumé ainsi :

Comment faire en sorte que les

écarts

entre les performances du

produit en cours d'industrialisation

et celles du

produit souhaité

par le client

soient

minimums ?

Constat

- ❑ Les **anciens** outils (APTE, FAST, SADT et Grafcet) ont vécu ... et ne sont plus forcément bien adaptés
 - ❑ Leurs origines diverses et très limitée ne permet plus de bien modéliser un système actuel
 - ❑ Les systèmes actuels offrent de plus en plus de fonctionnalités : la structuration classique est, par conséquent, de moins en moins adaptée
-

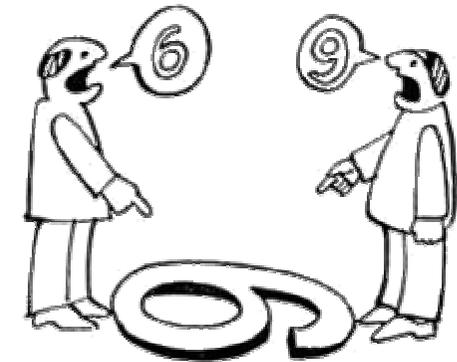
D'où :

**Nécessité d'un nouveau
langage de modélisation !**

Langage SysML

Introduction

- Le langage **SysML** est un langage de **modélisation** permettant de **décrire** tout ou partie d'un système technique, d'un point de vue transversal, comportemental ou structurel
- C'est un outil de **communication** utilisé dans toutes les phases de vie du produit afin que les différents acteurs puissent **communiquer** et **mesurer les écarts** entre le produit en cours de réalisation et celui souhaité
- N'est pas une méthode d'étude, de réflexion ou de conception



SysML est

- Suffisamment **simple** à comprendre pour que tout le monde puisse l'utiliser sans formation initiale particulièrement profonde
 - Suffisamment **développé** pour ne pas être un frein à la créativité, et donc utilisable par des spécialistes
-

SysML permet de répondre aux questions :

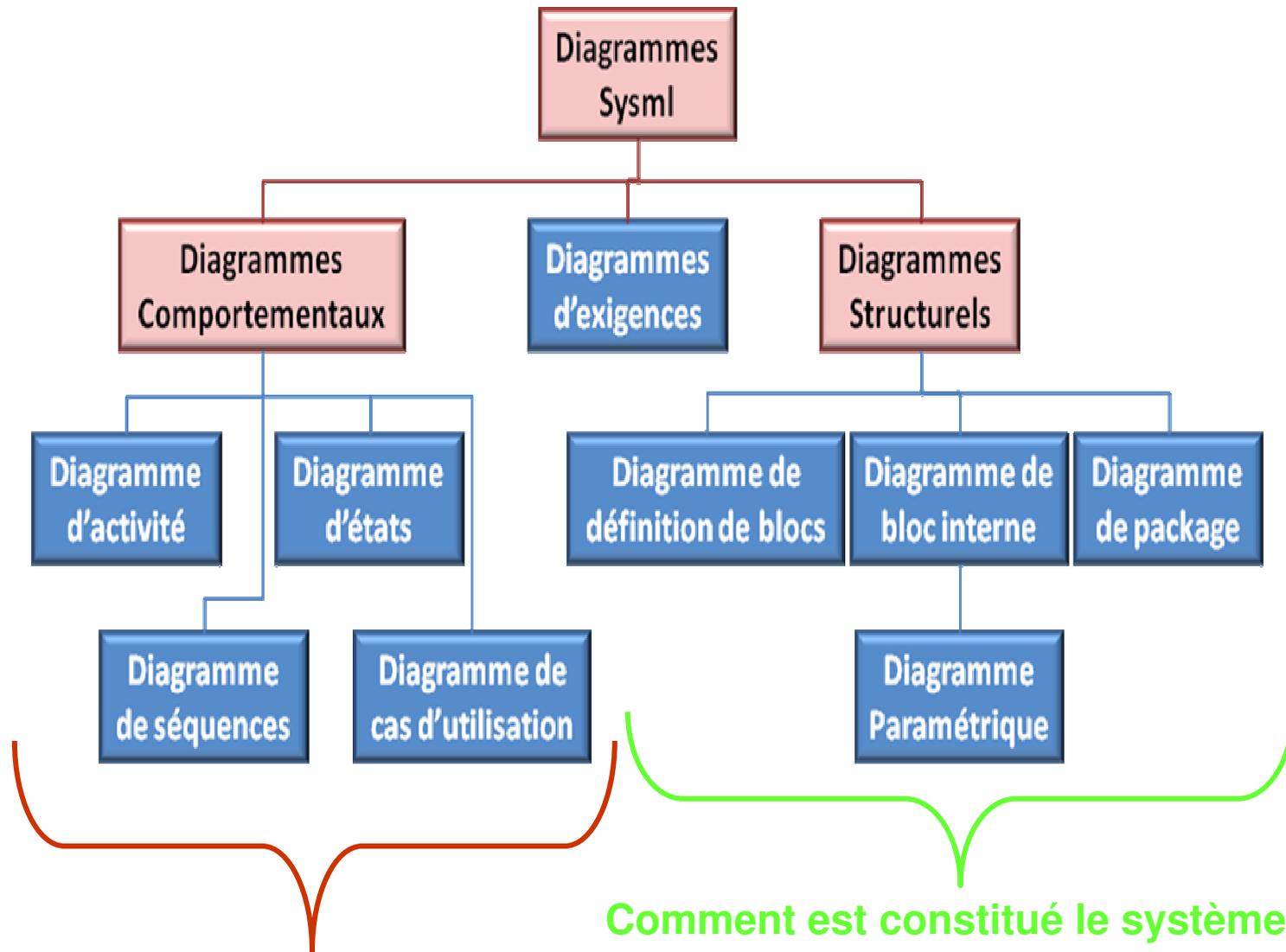
- Quel est le contexte du système étudié ?
 - A quoi sert-il ? Et à qui ?
 - Quelles sont les fonctionnalités et contraintes ?
 - Quelles sont les infos échangées pour le fonctionnement du système?
 - De quoi est-il constitué ? Point de vue externe
 - De quoi est-il constitué ? Point interne
 - Quelles sont les lois de comportement ?
 - Quels sont les états de fonctionnement ?
 - Quel est le processus de fonctionnement ?
-

Le **SysML** a été adopté par l'**OMG** (Object Management Group) en Juillet 2006

Version 1.0 est rendue officielle en Septembre 2007

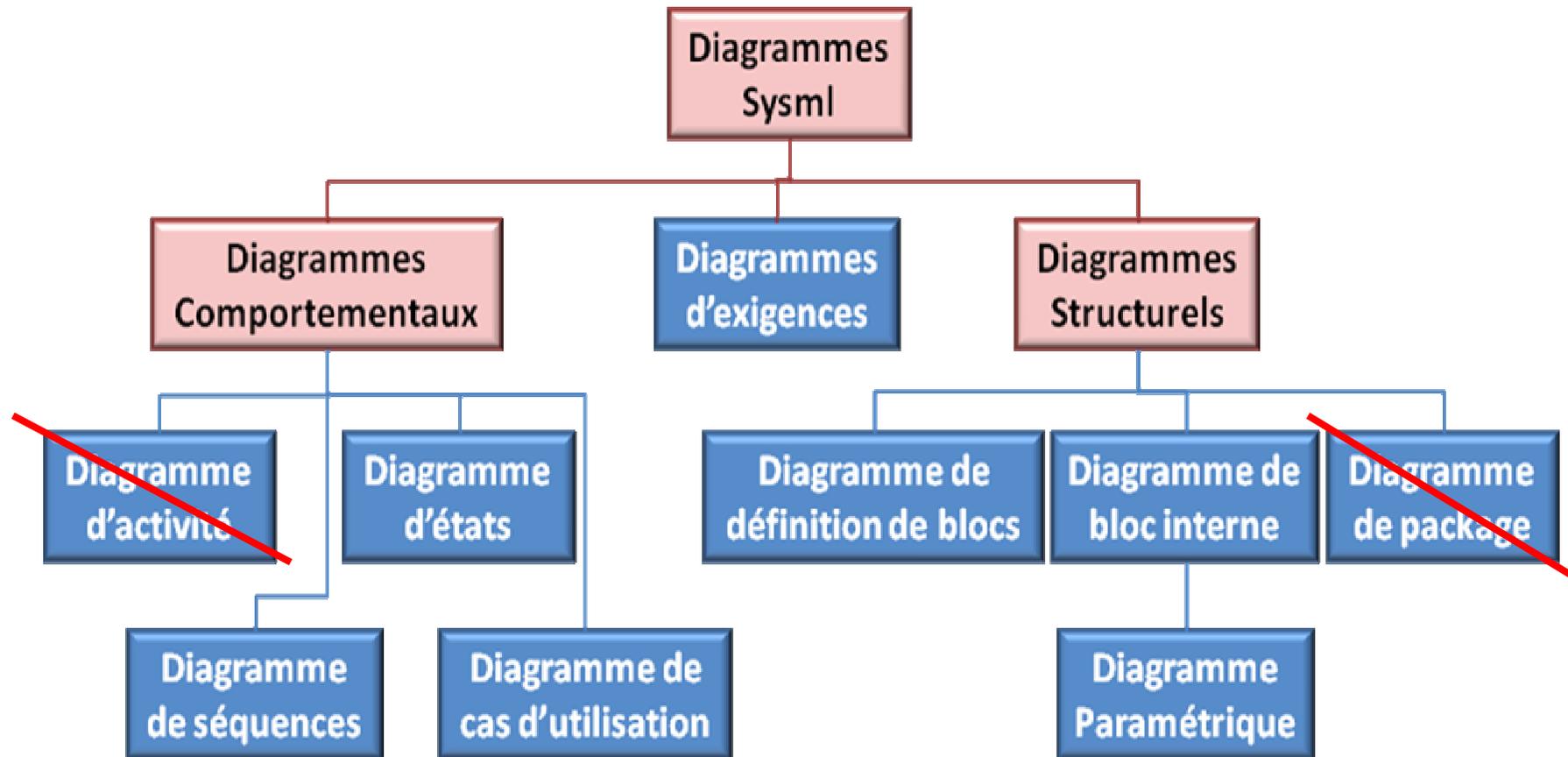
Version 1.3 en Juin 2012

Il s'articule autour de **9** types de diagrammes

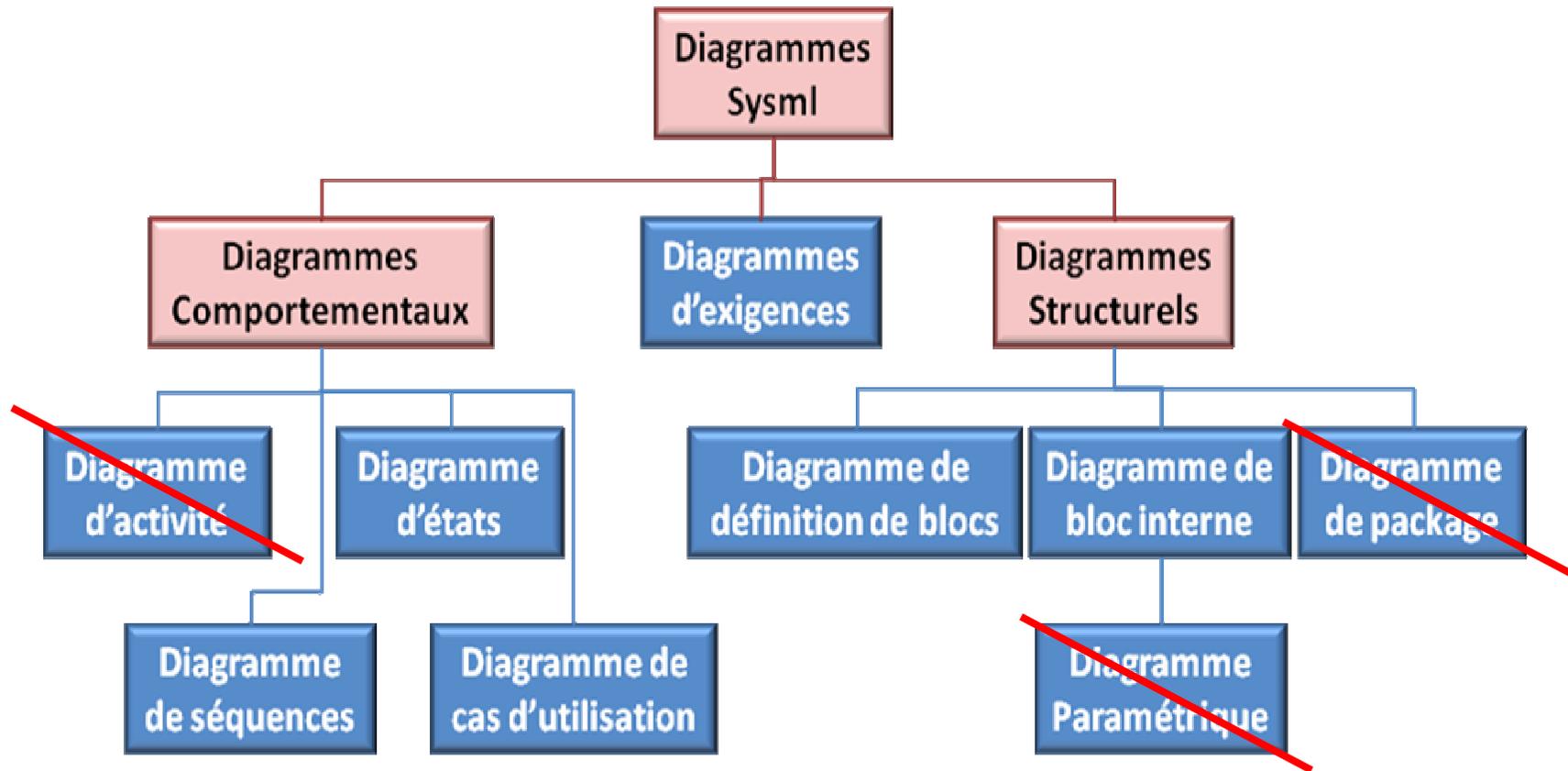


Que doit faire et comment doit se comporter le système ?

SysML au CPGE



SysML aux Lycées Techniques Français



Indicateurs des 6 diagrammes SysML

uc : diagramme des cas d'utilisation	stm : diagramme (machine) d'état
req : diagramme des exigences	bdd : diagramme de définition des blocs
sd : diagramme de séquence	ibd : diagramme des blocs internes

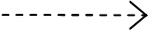
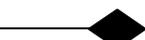
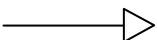
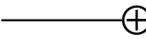
Aucun **ordre d'analyse** des **6** diagrammes n'est préconisé, un travail **simultané** sur l'ensemble est souhaité

Toute modification de l'un des diagrammes **engendre** généralement des modifications dans les autres représentations

Au niveau de la formation en **CPGE** et au
Lycée , les diagrammes sont proposés
uniquement à la lecture

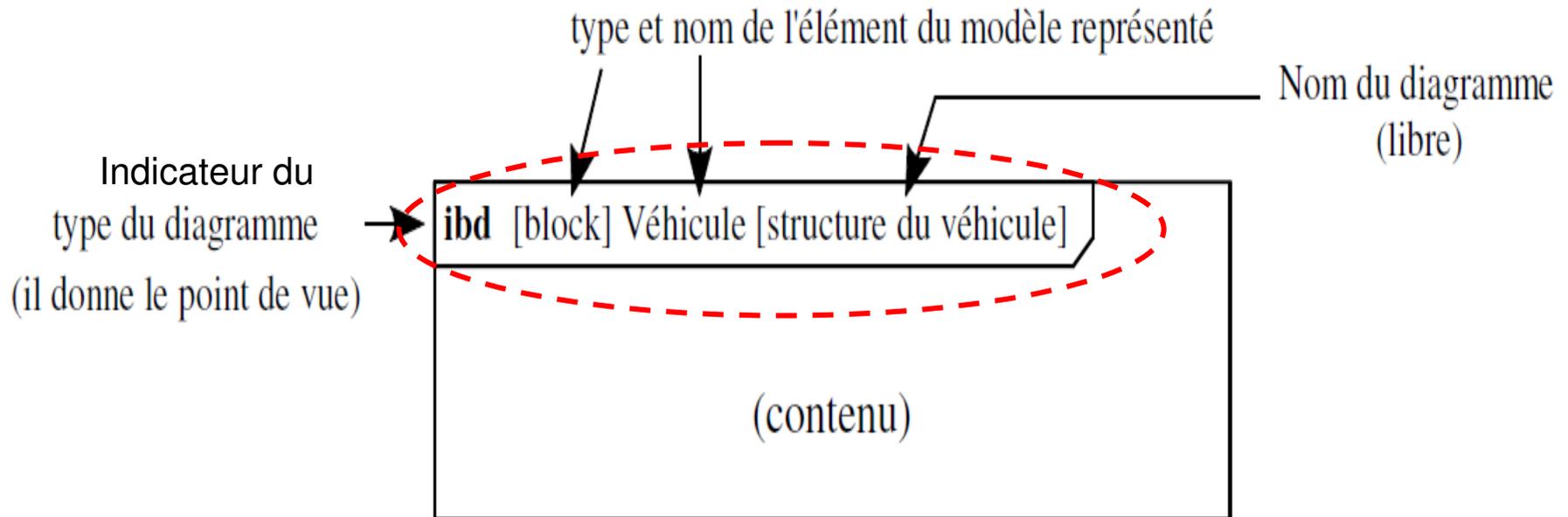
La maîtrise, par l'élève, de l'écriture des
différents diagrammes **n'est donc pas**
attendue par le référentiel

Principales relations utilisées et leurs significations :

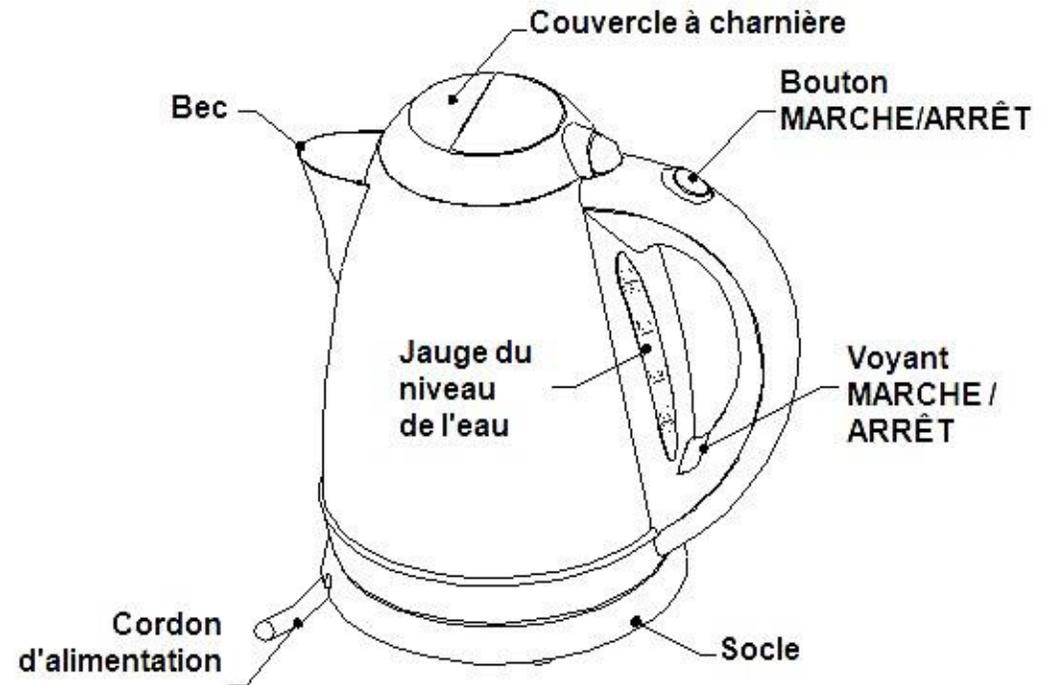
Relation	Désignation	Signification	Utilisée dans
A  B	Association	relation d'égal à égal entre deux éléments. A utilise B	uc bdd ibd
	Dépendance	2 items distincts mais dont l'un dépend de l'autre A dépend de B	uc req bdd
	Agrégation	un élément est une composante facultative de l'autre. A entre dans la composition de B sans être indispensable à son fonctionnement	req bdd
	Composition	un élément est une composante obligatoire de l'autre. A entre dans la composition de B et lui est indispensable	req bdd
	Généralisation	dépendance de type « filiation » entre 2 items A est une sorte de B	uc bdd ibd
	Contenance	relation d'inclusion entre 2 items B contient A	uc req bdd

Cartouche de repérage

Placée en haut à droite du diagramme



Bouilloire électrique



Une bouilloire est généralement composée d'un **pot** pour recevoir l'eau à **chauffer** ou à faire **bouillir**, et d'un **socle**, sur lequel on **pose** la bouilloire pour faire chauffer l'eau

L'eau est chauffée grâce à une **résistance électrique** placée au fond du pot

Un **cordon électrique** lié au socle permet de **brancher** la bouilloire et la mise sous tension est réalisée grâce au **bouton Marche/Arrêt**

Un **voyant précise** à l'utilisateur si le système est sous tension.

Un **capteur de température détecte** lorsque l'eau bout et **coupe** la mise sous tension en déclenchant le bouton Marche/Arrêt.

L'utilisateur peut **interrompre** le chauffage à tout moment en mettant le bouton Marche/Arrêt sur « **Arrêt** ».

Enfin, un **couvercle** permet de **verser** l'eau à chauffer, tandis qu'un **bec** et un **filtre** permettent de **filtrer** l'eau chaude que l'on souhaite utiliser.

Diagramme de contexte

Le **diagramme de contexte** permet de **définir les frontières de l'étude** et en particulier de préciser la phase du cycle de vie dans laquelle on situe l'étude

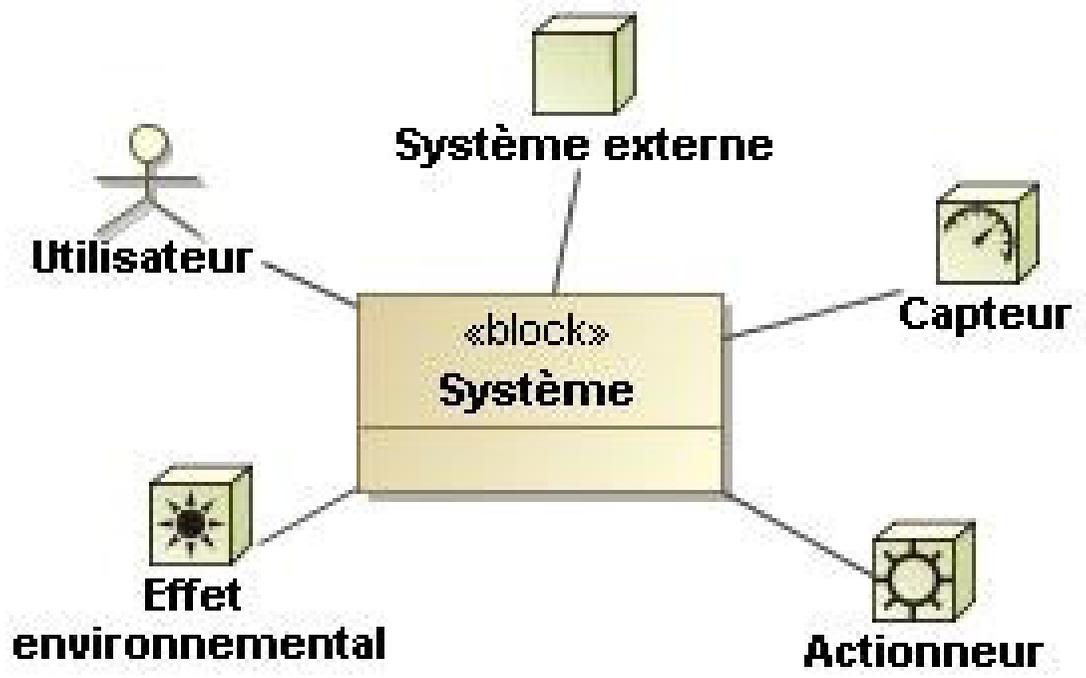
Il répond à la question :

« *Quels sont les acteurs et éléments environnants du système ?* »

Il n'y a pas de syntaxe spécifique à utiliser.

Ce diagramme s'appuie sur la notion de bloc
(Voir diagramme **bdd**).

bdd [Modèle] Data [Contexte du système]



Éléments extérieurs à la bouilloire

- Plan de travail
 - Prise du secteur
 - Eau
 - Utilisateur
 - Rangement (Encombrement)
 - Milieu ambiant
-

bdd [Paquet] Diagrammes comportementaux [Contexte]

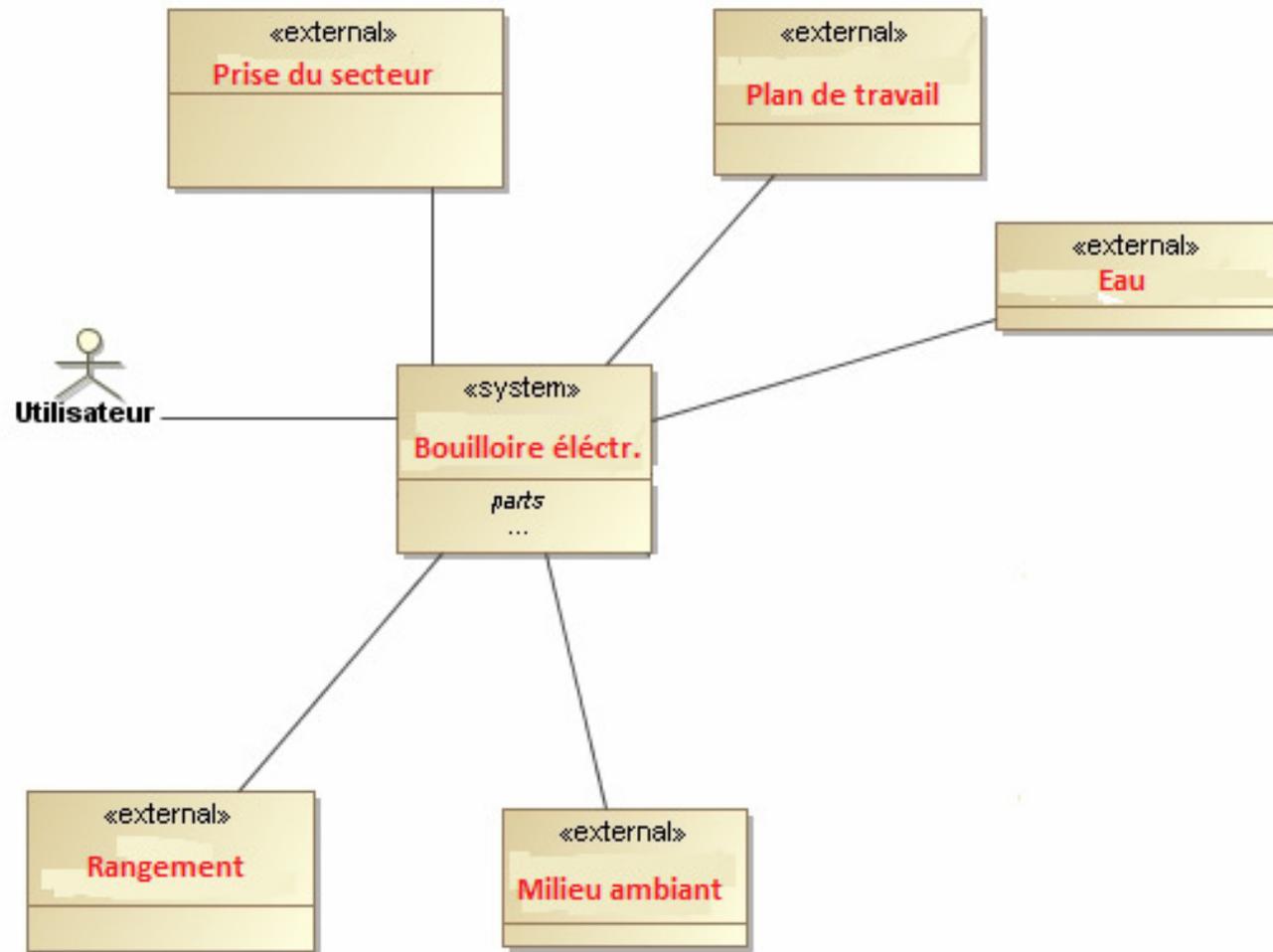


Diagramme des cas d'utilisation (uc)

Le **diagramme des cas d'utilisation** est un diagramme fonctionnel qui montre les fonctionnalités offertes par le système.

Il répond à la question :

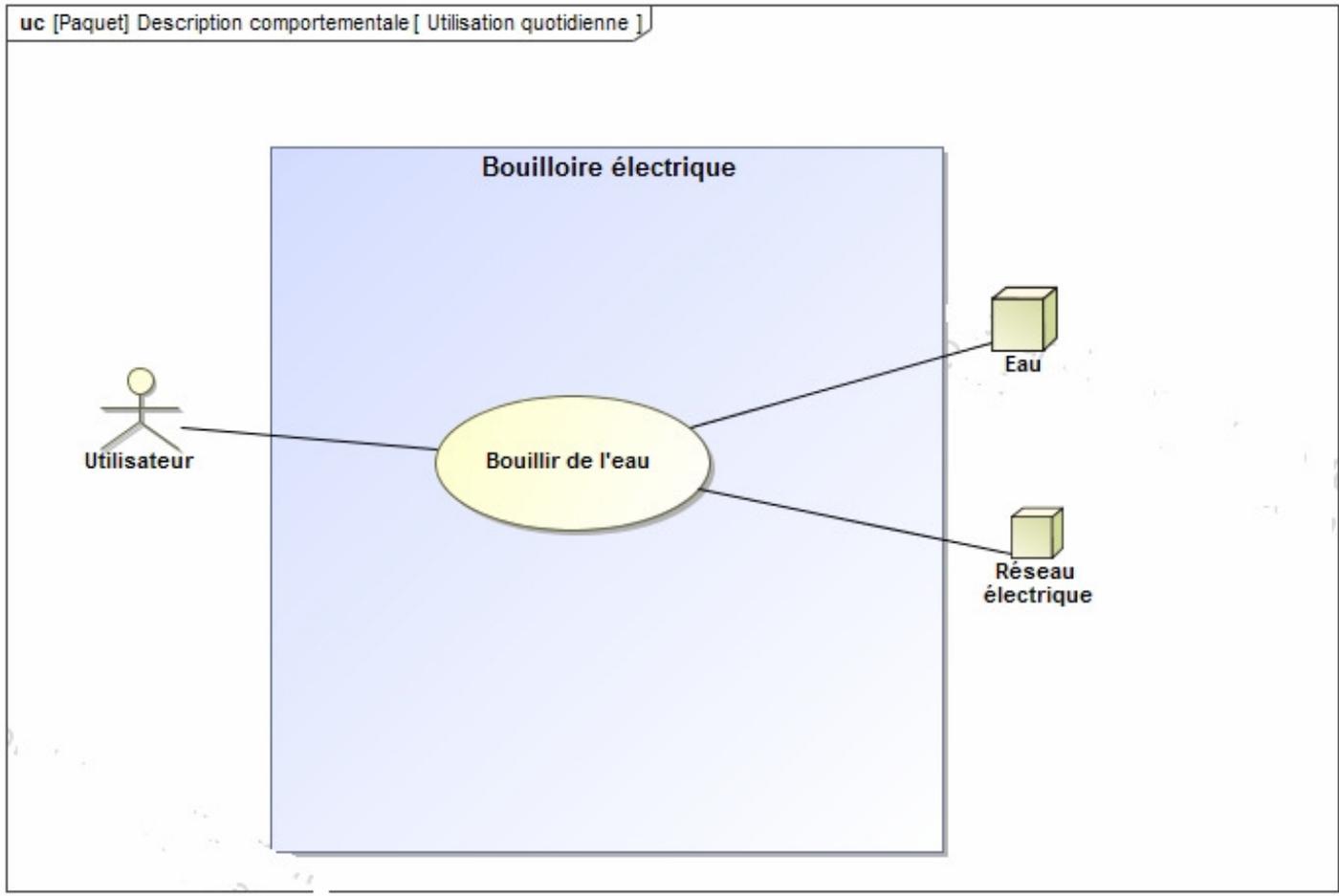
« *Quels services rend le système aux différents acteurs ?* ».

Un **acteur** est un utilisateur (stickman) ou bien un élément extérieur (bloc).

Le diagramme des cas d'utilisation exprime alors les **services** offerts par le système aux utilisateurs (acteurs)

les acteurs étant à l'extérieur :

- à gauche s'ils sont considérés comme
« principaux »
 - à droite s'ils sont considérés comme
« secondaires »
-



Associations pouvant être utilisées

- ***Extend*** : le cas d'utilisation source est une extension possible du cas d'utilisation destination
 - ***Include*** : le cas d'utilisation source comprend obligatoirement le cas inclus
-

Exemple de Généralisation dans un UC

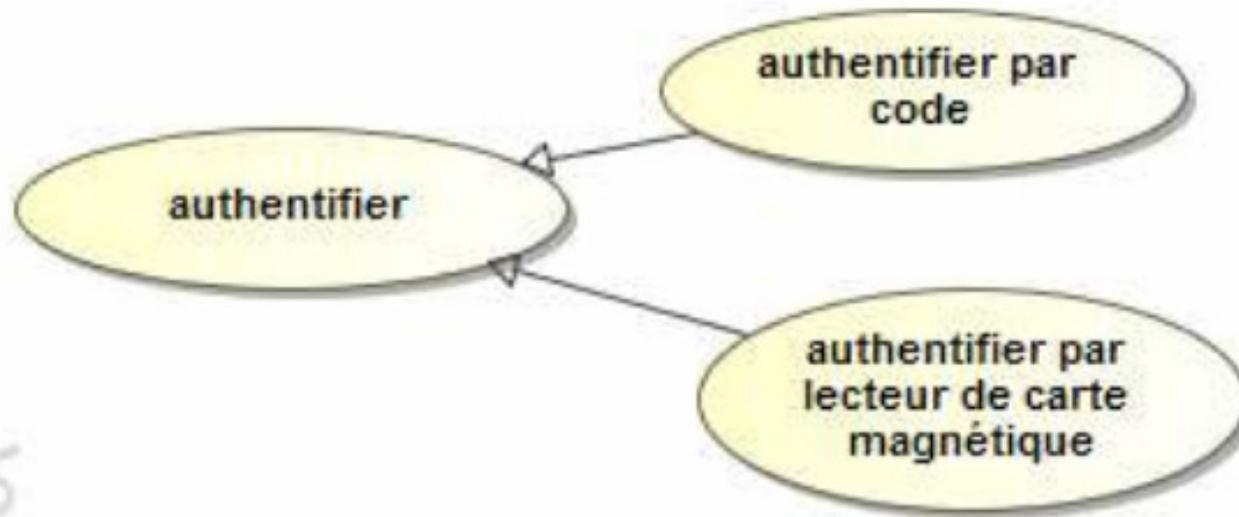


Diagramme des exigences (req)

Notion d'Exigence

Une exigence permet de spécifier une capacité ou une contrainte qui doit être satisfaite par un système

Elle peut spécifier une fonction que le système devra réaliser ou une condition de performance technique, physique, de fiabilité, de sécurité, etc

Les exigences servent à établir un contrat entre le client et les réalisateurs du système

diagramme des exigences

C'est un diagramme fonctionnel qui **spécifie**, **hiérarchise** et **documente** les exigences du cahier des charges fonctionnel

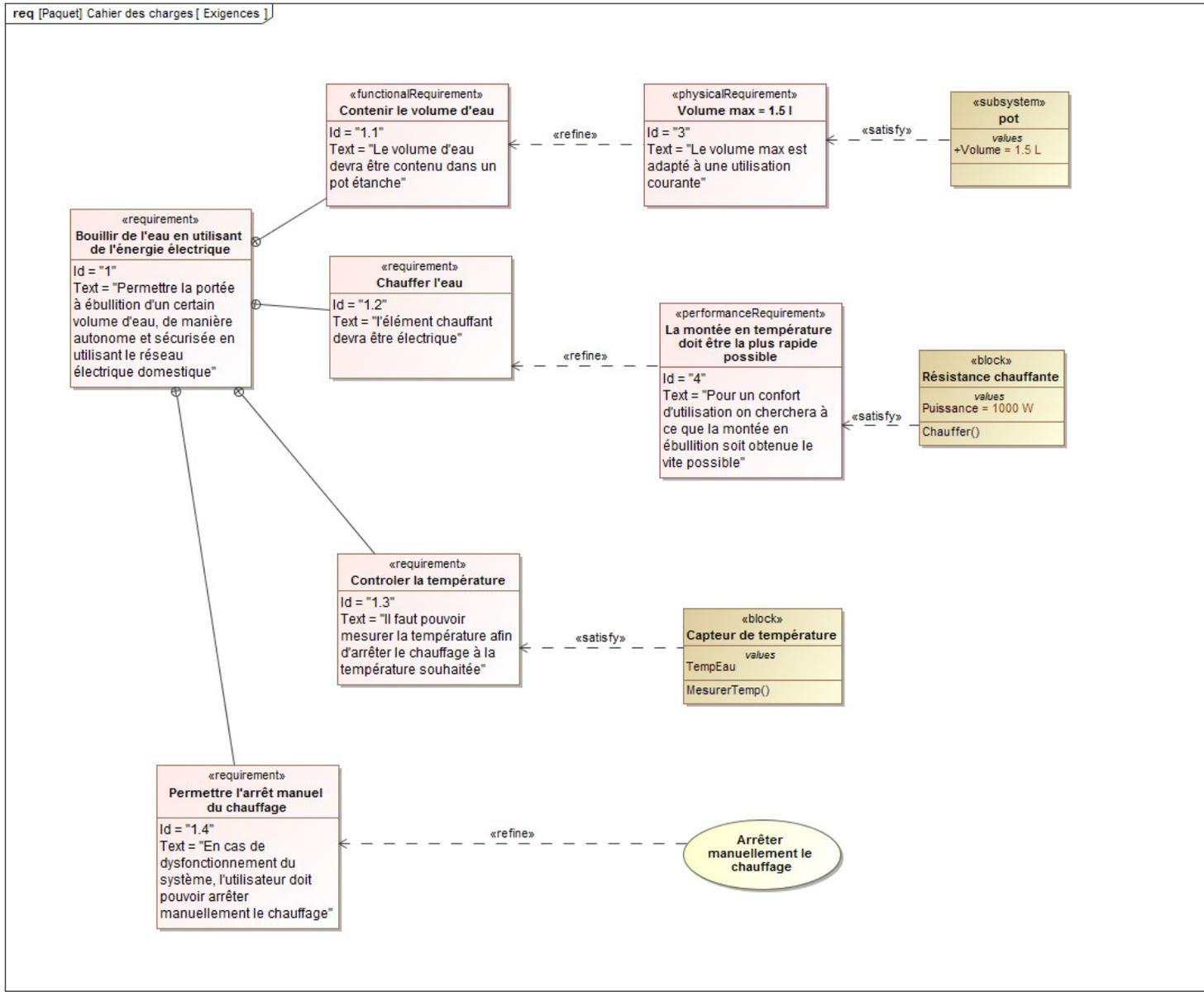
Il répond à la question :

« *Quels sont les contraintes et fonctionnalités du système ?* »

Nota : Les exigences sont souvent exprimées par des verbes à l'infinitif.

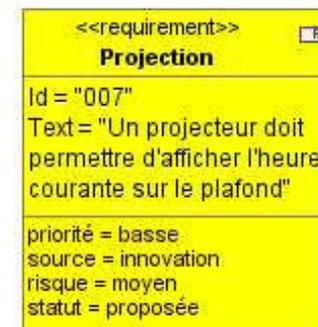
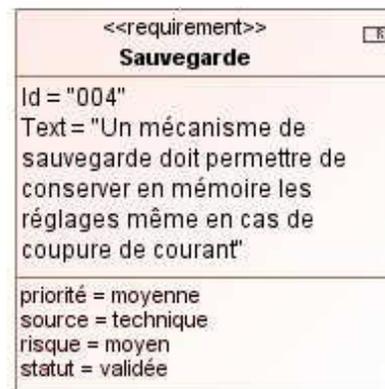
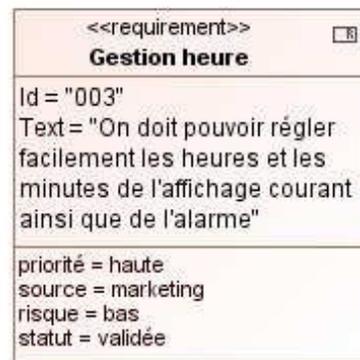
D'autres types d'associations utilisées

- ***DeriveReq*** : une ou plusieurs exigences sont dérivées d'une exigence
 - ***Satisfy*** : un ou plusieurs éléments du modèle permettent de satisfaire une exigence
 - ***Verify*** : un ou plusieurs éléments du modèle permettent de vérifier et valider une exigence
 - ***Refine*** : un ou plusieurs éléments du modèle permettant d'affiner une exigence
-



Compléments d'information

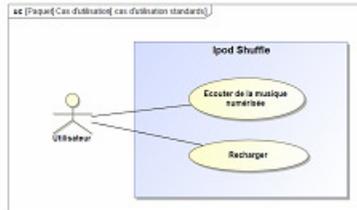
- ***priorité*** (haute, moyenne, basse) ;
 - ***source*** (client, marketing, technique, législation, etc.)
 - ***risque*** (haut, moyen, bas)
 - ***statut*** (proposée, validée, implémentée, testée, livrée...)
 - ***méthode de vérification*** (analyse, démonstration, test..)
-



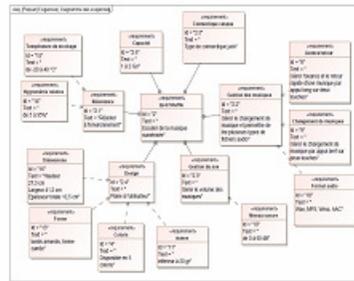
Nota : un *CdCF* peut être explicité par les diagrammes **uc** et **req** en leur adjoignant une **liste** de fonctions de service et contrainte du système tout en précisant les **critères** d'appréciation, les **niveaux** et les **flexibilité**

Fonction technique	Critère	Niveau	Flexibilité
Permettre à la personne d'atteindre facilement l'épaule du robot avec sa main droite ou gauche	Distance optimisée vers l'avant (origine : épaule de la personne)	200 mm	2
	Distance optimisée sur le côté (origine : épaule de la personne)	200 mm	2
	Distance optimisée vers le haut (origine : sol)	900 mm	1
Supporter l'effort vertical exercé par la personne qui veut se lever d'un siège	Effort maximum	< 100 N	1
	Maintien de la position sous charge (Variation de hauteur du point d'appui)	< 5 mm	2
	Dépassement de position face à un échelon de sollicitation :	< 5%	2
	Temps de maintien d'un effort supérieur à 1N	< 10 s	2
	Temps de montée maximal	15 s	2
	Temps de montée minimal	10 s	2

uc



req



Fonction technique	Critère	Niveau	Flexibilité
Permettre à la personne d'atteindre facilement l'épaule du robot avec sa main droite ou gauche	Distance optimisée vers l'avant (origine : épaule de la personne)	200 mm	2
	Distance optimisée sur le côté (origine : épaule de la personne)	200 mm	2
	Distance optimisée vers le haut (origine : sol)	900 mm	1
Supporter l'effort vertical exercé par la personne qui veut se lever d'un siège	Effort maximum	< 100 N	1
	Maintien de la position sous charge (Variation de hauteur du point d'appui)	< 5 mm	2
	Dépassement de position face à un échelon de sollicitation :	< 5%	2
	Temps de maintien d'un effort supérieur à 1N	< 10 s	2
	Temps de montée maximal	15 s	2
	Temps de montée minimal	10 s	2

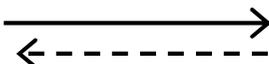
Diagramme de séquence (sd)

C'est un diagramme dynamique qui représente les échanges de messages entre les acteurs et le système, pour un **scénario** donné sans préjuger de **comment**.

Scénario : Succession d'enchaînements qui s'exécutent du début à la fin d'un cas d'utilisation

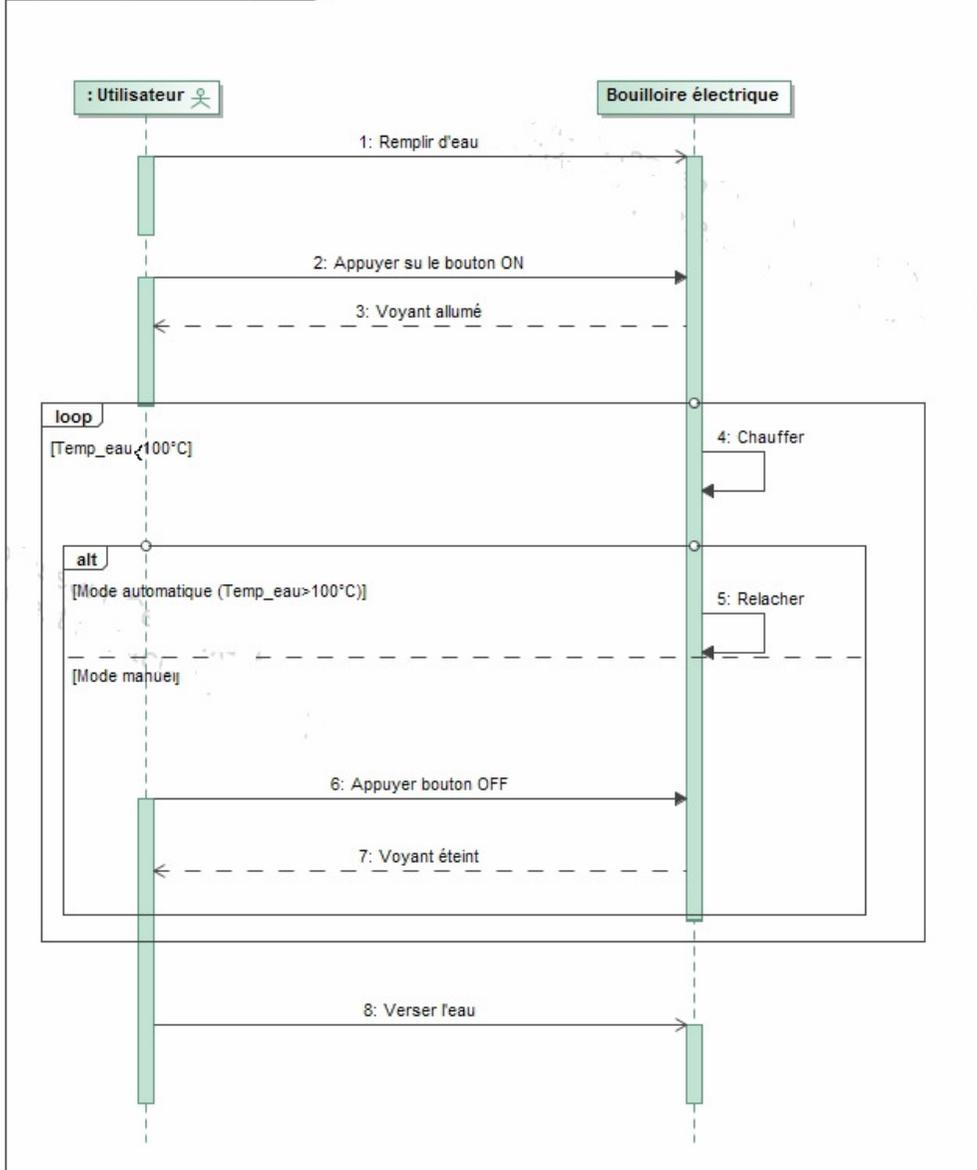
Nota : un cas d'utilisation est décrit par au moins un diagramme de séquence.

Les signaux ou messages peuvent être de trois catégories :

Signal	Signification	Symbole
<i>Synchrone</i>	l'expéditeur attend une réponse	
<i>Asynchrone</i>	l'expéditeur n'attend pas réponse	
<i>Réflexif</i>	interaction interne	

Le temps se déroule du haut vers le bas, sans échelle particulière

sd [Interaction] Bouillir de l'eau [Bouillir]



Un cas d'utilisation peut dépendre d'autres cas d'utilisation. Il s'appellera alors : **fragment**

Chaque fragment possède un **opérateur** et peut être divisé en **opérandes**

Les principaux **opérateurs** sont

- **loop** : boucle. Le fragment peut s'exécuter plusieurs fois, et la condition de garde explicite l'itération
 - **opt** : optionnel. Le fragment ne s'exécute que si la condition fournie est vraie
 - **alt** : fragments alternatifs. Seul le fragment possédant la condition vraie s'exécutera
 - **par** : fragments parallèles. S'exécutent simultanément
 - **break** : la séquence en cours s'interrompt si la condition précisée est vraie
-

Deux types de contraintes temporelles

- ***Contrainte de durée***

durée exacte, minimale ou maximale entre 2
évènements

- ***Contrainte de temps***

associées à des instants dans la description
de la séquence d'échanges entre éléments.

interaction Simulation d'aube [Simulation d'aube]

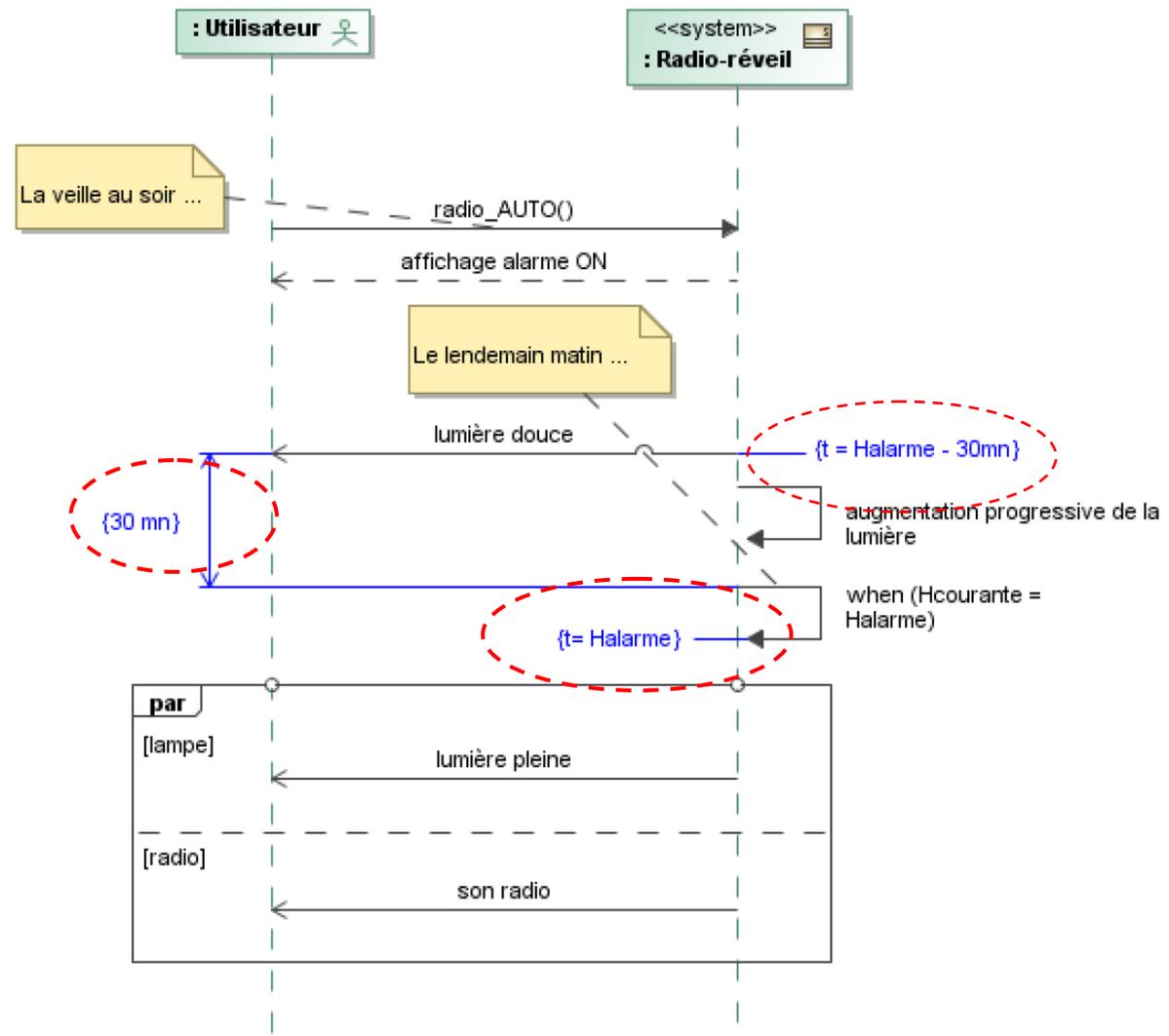


Diagramme de définition des blocs (bdd)

Le diagramme de définition des blocs décrit la hiérarchie du système et les classifications système/composant

Il répond à la question « *qui contient quoi ?* »

ce qui permet de voir rapidement la structure globale du système

Il est utilisé pour décrire l'architecture matérielle du système

similaire à la première page d'une notice de montage d'un meuble, indiquant la liste des éléments et des pièces à assembler avec leurs quantités respectives

Bloc

Entité bien délimitée qui encapsule principalement

- ses paramètres (*values*)
- les blocs qui lui appartiennent (*parts*)
- ses *ports* (définis plus loin dans l' **ibd**)

Les *contraintes* et les *propriétés* peuvent aussi être précisées

Un bloc peut modéliser tout le système, un élément **matériel** ou **logiciel**

«block»

Motoréducteur à courant continu

constraints

$$cm = kt \cdot i$$
$$dwm/dt = (cm - f \cdot wm) / Jeq$$
$$u = R \cdot i + L \cdot di/dt + ke \cdot wm$$

parts

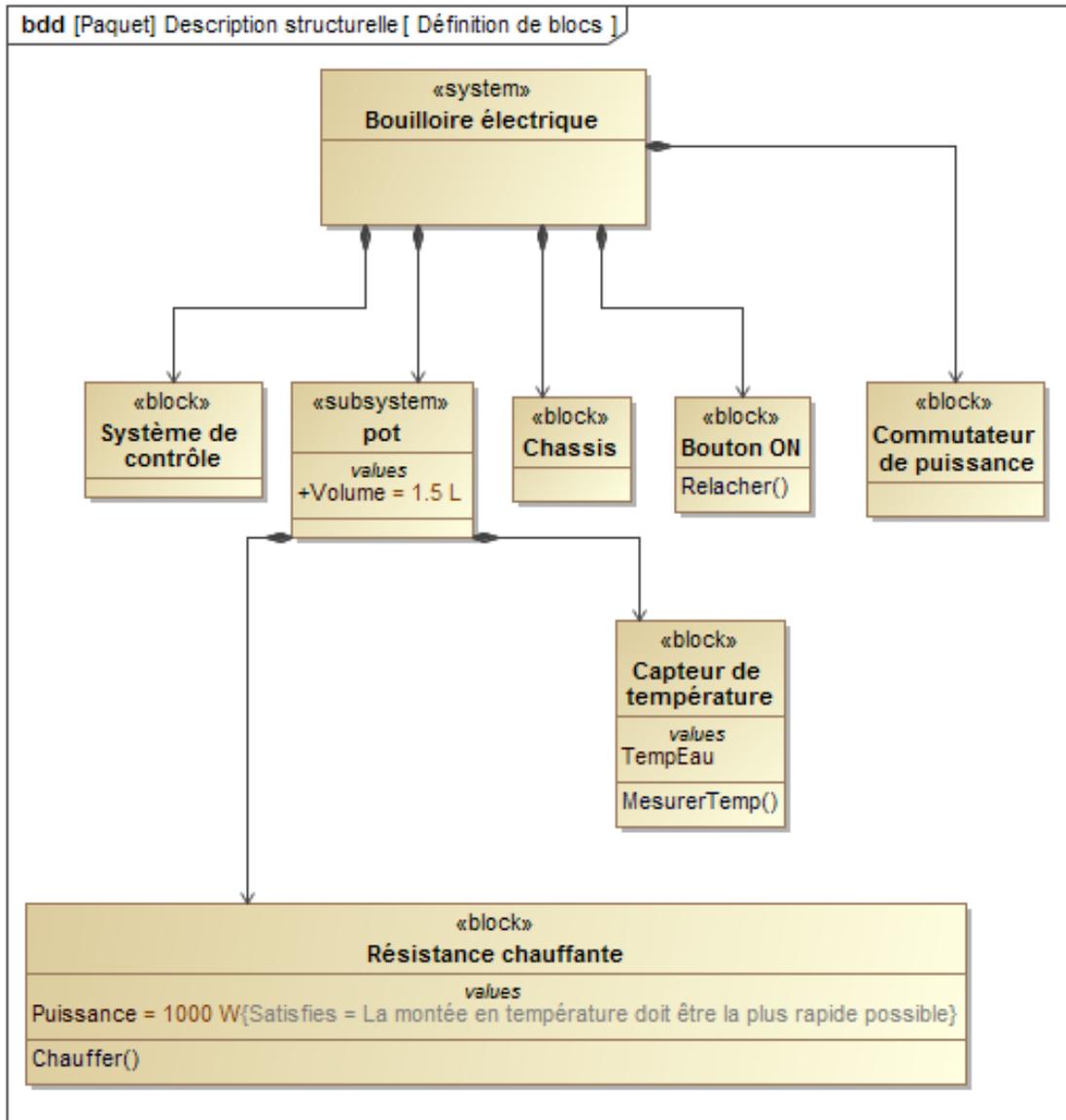
Moteur CC
Réducteur planétaire

properties

Couple nominal = 1 Nm
Vitesse nominale = 3000 rpm

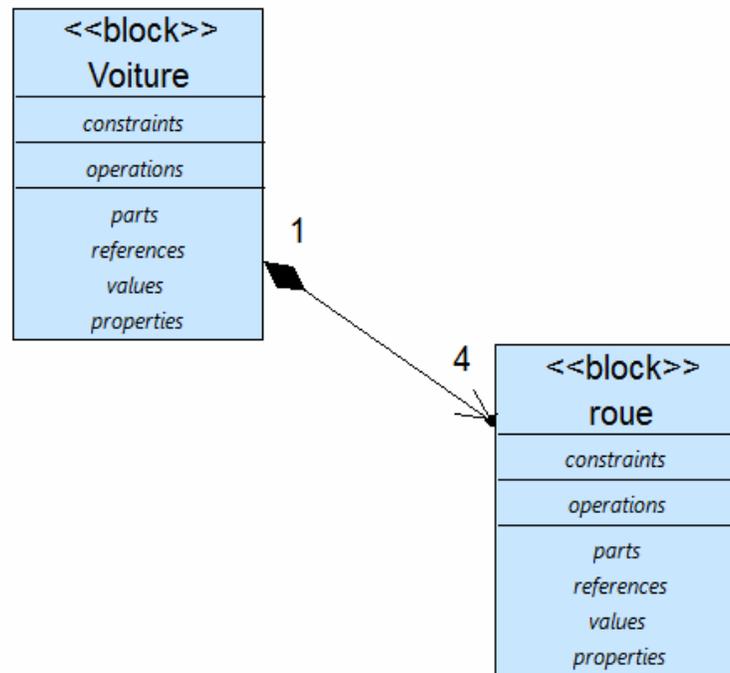
values

$f_{eq} = 7e-5$
 $J_{eq} = 6e-6$
 $ke = 0.02$
 $kt = 0.02$
 $L = 7e-4$
 $R = 5$



On peut également préciser le nombre d'entités près des extrémités des traits

Ce nombre est **1** par défaut



Lorsque une relation de **généralisation** est utilisée, les blocs spécialisés

- héritent de toutes les propriétés du bloc général
 - peuvent éventuellement en posséder d'autres qui leurs sont spécifiques
-

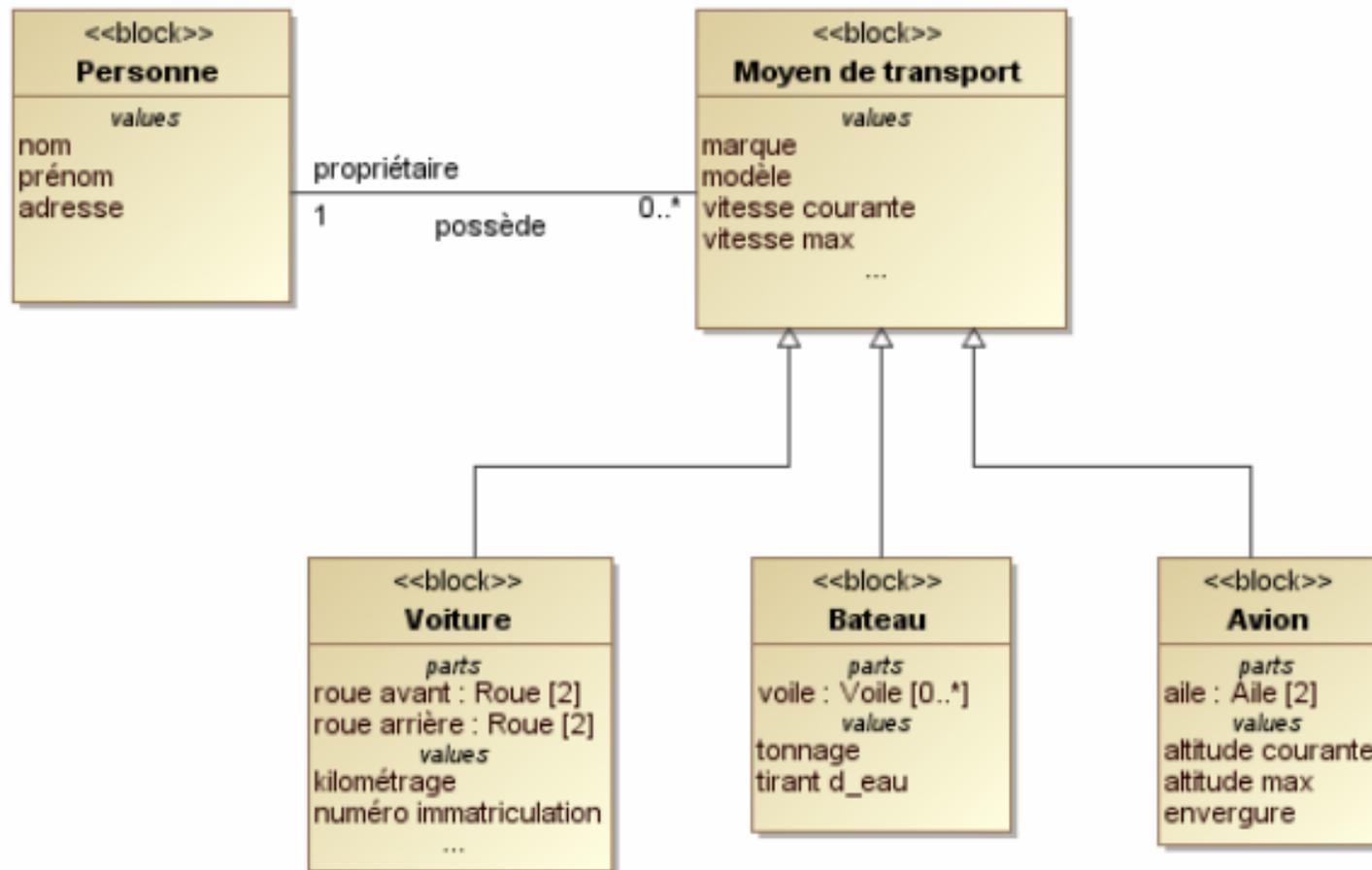


Diagramme des blocs internes (**ibd**)

Le diagramme **ibd** permet de représenter les **échanges de matière, information et énergie** entre les éléments (*parts*) d'un même bloc

Chaque bloc d'un diagramme **bdd** contenant d'autres blocs peut être représenté par un diagramme **ibd**.

Le diagramme des blocs internes permet également de décrire la logique de connexion, de services et de flux entre blocs grâce au concept de « *port* »

Les ports spécifient les points d'interaction **offerts** et **requis** entre les blocs

Les ports peuvent être de deux natures

- **port de flux**

canal d'Entrée/Sortie par lequel transite de la matière, de ou l'énergie de l'information (MEI)
(Flèche entrante, sortante ou bidirectionnelle)

- **port standard**

désigne une interface permettant d'invoquer un service/une opération
(pas de flèche)

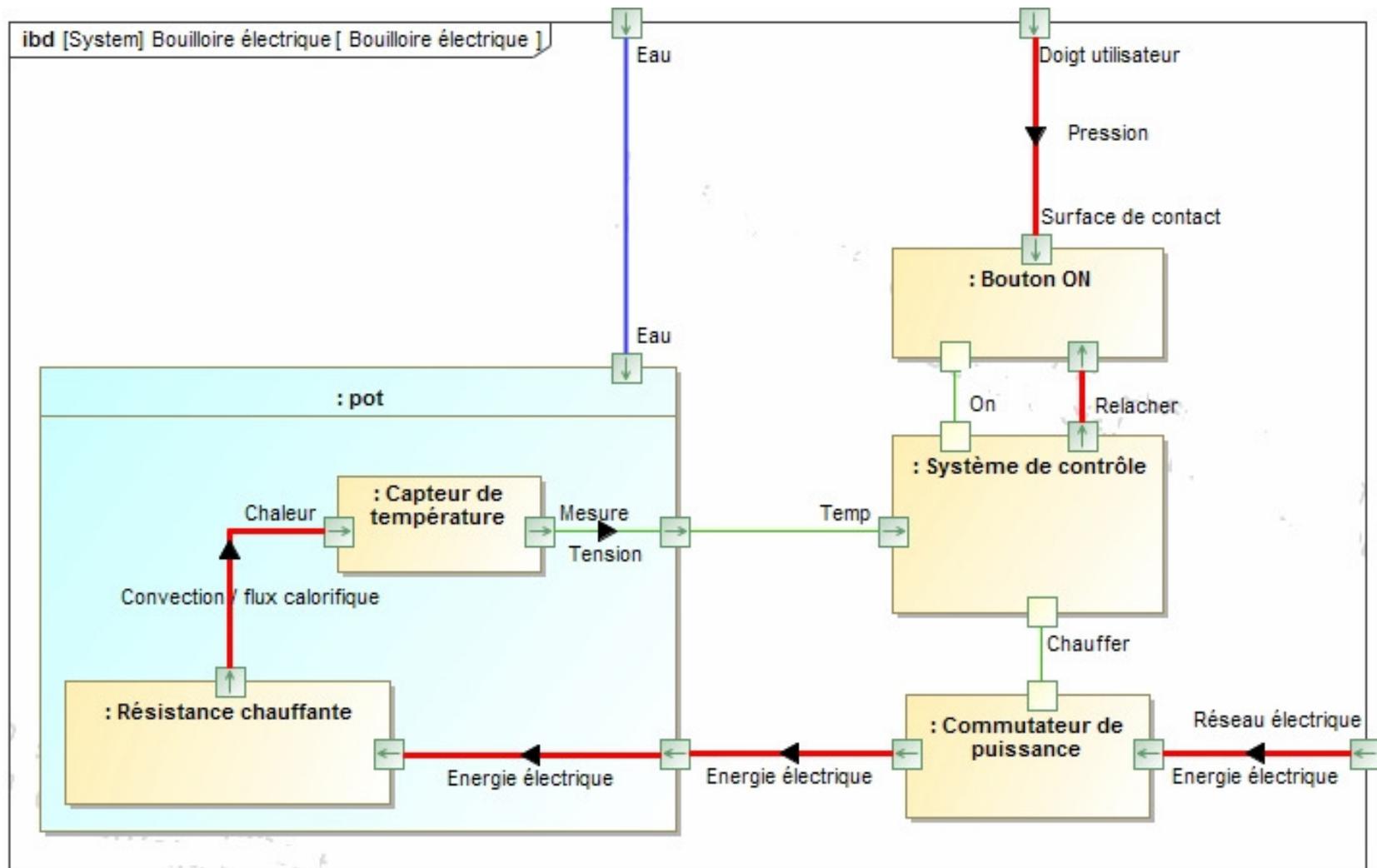


Diagramme d'état (stm)

Notion d'état

représente une situation durant la vie d'un bloc pendant laquelle

- **il satisfait une certaine condition**
 - **il exécute une certaine activité**
 - **ou bien il attend un certain événement**
-

Notion d'événement

Spécification pouvant déclencher une réaction, ou porter des paramètres qui matérialisent le flot d'informations ou de données reçues

Il peut être accompagné de conditions

Diagramme d'état

Sert à décrire le fonctionnement d'un système (ou sous-système) en montrant les différents **états** successifs qu'il prend, en fonction des interactions

Il décrit les **transitions** entre états et les **actions** que le système ou ses parties réalisent en réponse aux **événements**

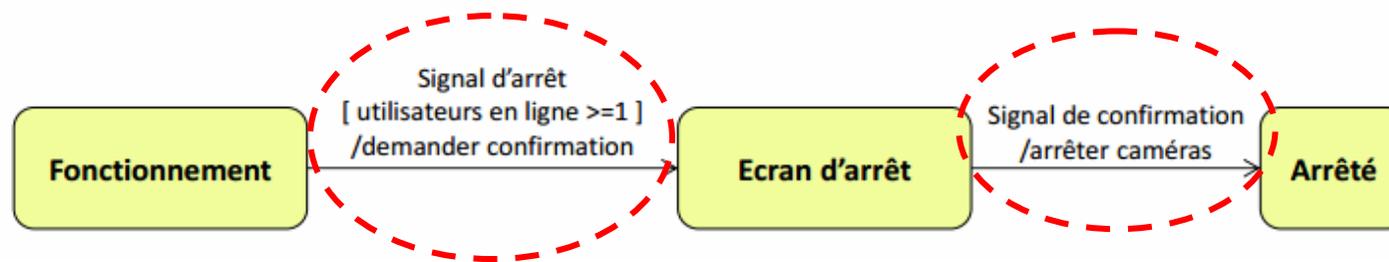
Le diagramme d'état répond à la question

Comment représenter les différents états du système ?

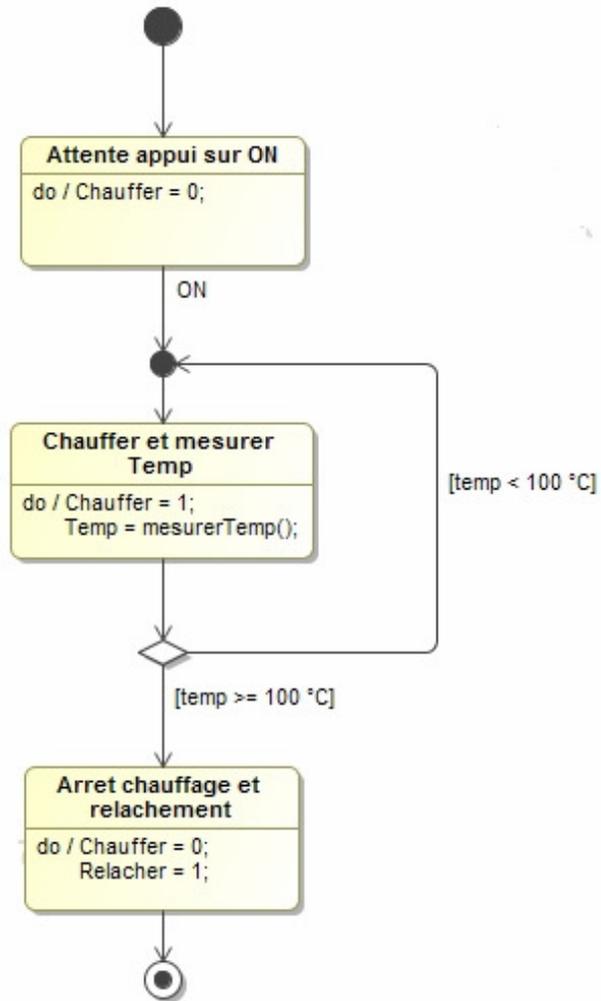
Une **transition** de passage d'un état à un autre possède

- ❑ un événement déclencheur
 - ❑ une condition ou condition de garde
 - ❑ un état cible
-

Notation : événement [condition] /action

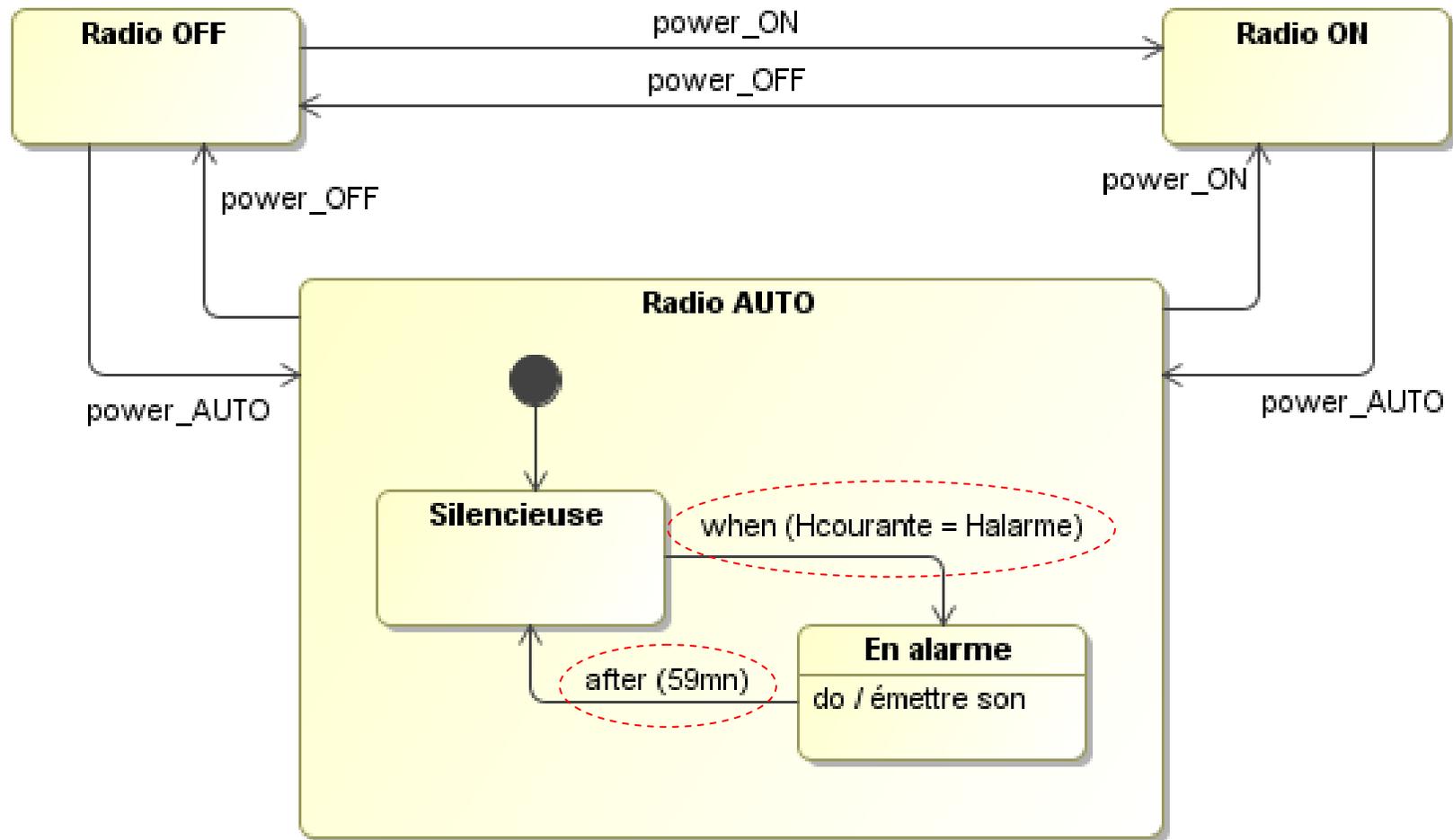


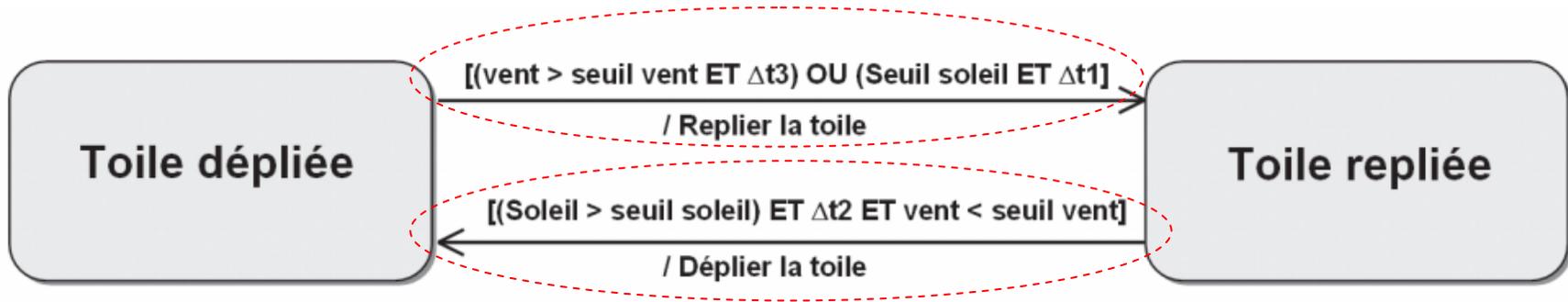
stm [Machine à Etat] Bouillir de l'eau [Bouillir de l'eau]



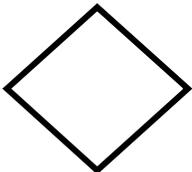
Condition ou condition de garde

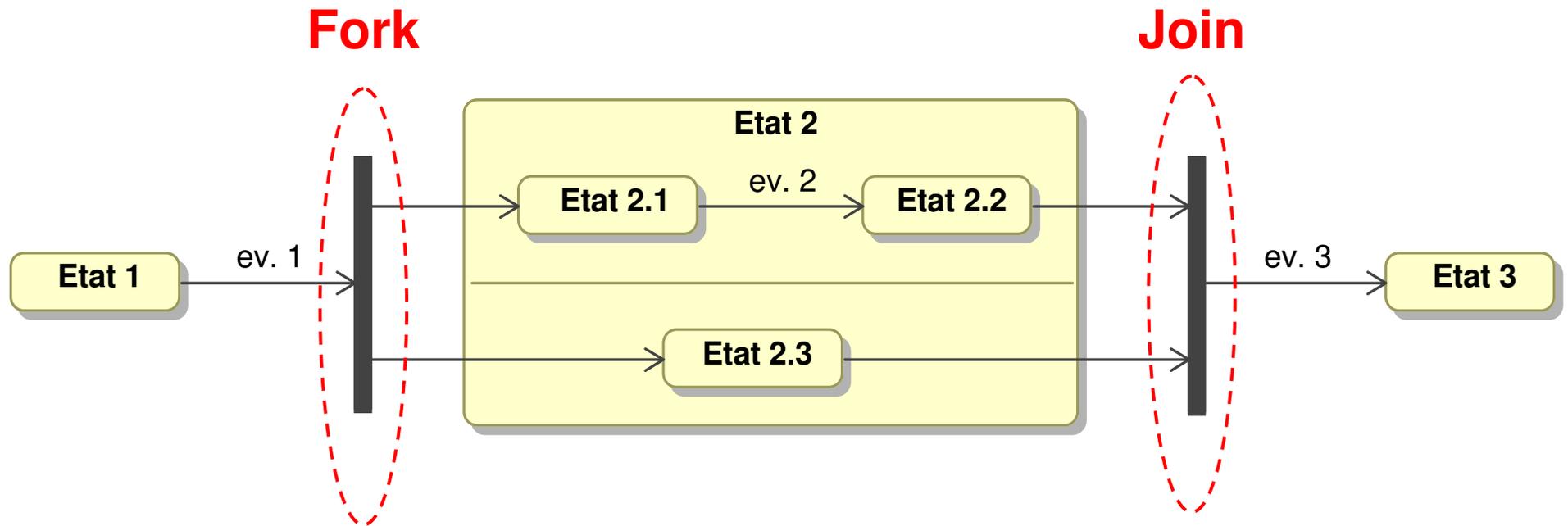
- C'est une expression booléenne qui doit être vraie lorsque l'événement arrive pour que la transition soit déclenchée. Elle est notée entre crochets
 - S'il y a plusieurs transitions avec un même événement, elles doivent avoir des conditions différentes
 - Lorsqu'il y a plus de deux conditions, il est recommandé d'utiliser le mot-clé **else** pour garantir l'exhaustivité
 - Les changements d'état interne se modélisent en utilisant le mot-clé **when** suivi d'une expression booléenne dont le passage de faux à vrai déclenche la transition
 - Le passage du temps se modélise en utilisant le mot-clé **after** suivi d'une expression représentant une durée, décomptée à partir de l'entrée dans l'état courant
-





Complément

	Pseudo-état « fork »	Divergence de séquences parallèles (ET) : une transition en amont et au moins deux (sans évènement) en aval
	Pseudo-état « join »	Convergence de séquences parallèles (ET) : au moins deux transition amont (sans évènement) et une en aval
	Pseudo-état « choice »	Sélection et convergence de séquences exclusives (OU) . Une condition d'un évènement aval doit être vraie pour que l'évolution se poursuive. Dans le cas de la convergence de séquence, une condition d'un évènement amont doit être vraie pour que l'évolution se poursuive.



**Pour plus d'informations, veuillez
consulter la documentation fournie**

Merci de votre attention
