

Ingénierie des systèmes

Problématique

La description des systèmes, qu'ils soient de simple mécanismes ou des systèmes industriels relativement complexes et nécessite d'utiliser un langage qui soit compréhensible par toutes les parties qui vont soit utiliser le système, le vendre, le maintenir, le fabriquer ou le concevoir. Nous allons dans ce premier chapitre commencer par définir les différents cette notion de système et mettre en place un outil de description des systèmes

Ce premier cours de l'année est donc une approche de l'ingénierie système et des outils de description associés.

1.1

Besoin, produit, système

Là première question que l'on doit se poser lors de l'étude d'un système est : À quoi sert ce système ?

Il est donc nécessaire de définir le besoin

1.1.1 Le besoin

La norme NF X50 - 150 précise : « Un besoin est une nécessité, un désir éprouvé par un utilisateur ».

Tout produit, tout système naît de la volonté de satisfaire un besoin. Ce besoin peut être un simple rêve, une envie ou la réponse à un problème. De même, les besoins exprimés pour un même objectif ont évolué au cours du temps (figure 1.1) :

- d'une simple description d'un usage dans les premiers temps ;
- en précisant ensuite des contraintes :
 - de coûts,
 - de facilité d'utilisation,
 - d'affichage de l'innovation ;
- en précisant plus récemment :
 - l'impact environnemental,
 - l'impact social,
 - l'impact sur le développement,
 - ...

Le besoin initial correspond à l'exigence principale que doit satisfaire le système, la mission de celui-ci.

Nettoyer le sol	Nettoyer le sol et ramasser la poussière	Nettoyer le sol, ramasser une grande quantité de poussière	Nettoyer le sol, ramasser la poussière sans sac	Nettoyer le sol automatiquement
				

Figure 1.1 – Évolution des produits et des besoins

Activité 1 - Du télégraphe au smartphone

Corrigé page ??

Q1. Préciser en quelques mots les besoins satisfaits par : télégraphe, téléphone, mobile de première génération, les smartphones actuels

Q2. Quels besoins pourraient aussi satisfaire nos futurs smartphones.

1.1.2 Le produit, système

C'est une réalisation humaine, il a été imaginé et réalisé pour satisfaire le besoin. Le produit est la réponse au besoin. Avec l'évolution des besoins, les produits ont suivi la même évolution vers plus de technologie et d'automatisation intégrée

Un produit n'est pas obligatoirement un objet technique, cela peut tout aussi bien être un service ou un processus. Le terme « produit » est souvent remplacé par le terme « système » qui permet une signification plus riche et permet d'élargir à d'autres champs que les produits industriels.

Nous nous intéresserons ici principalement aux produits techniques (industriels).

a) Quelques définitions de systèmes

Les diverses définitions ci-dessous, sur lesquelles chacun peut s'accorder en raison de leur caractère descriptif, voire évasif, montrent, de façon non exhaustive, la difficulté d'unifier ces visions de la définition d'un système complexe.

- A « system » is a construct or collection of different elements that together produce results not obtainable by the elements alone. The elements, or parts, can include people, hardware, software,

facilities, policies, and documents; that is, all things required to produce system - level results. The results include system-level qualities, properties, characteristics, functions, behavior, and performance. The value added by the system as a whole, beyond that contributed independently by the parts, is primary created by the relationship among the parts; that is, how they are interconnected. (en. System, NASA (2007)).

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.

- Construire ou utiliser un objet technique complexe fait appel à la notion de système. Cette notion, ancienne dans les sciences physiques et humaines, est maintenant courante dans les pratiques industrielles et opérationnelles. Par définition, tout système est constitué d'un ensemble d'éléments dont la synergie est organisée pour répondre à une finalité dans un environnement donné(AFIS, 2009).
- The systems are man-made, created and utilized to provide services in defined environments for the benefit of users and other stakeholders. These systems may be configured with one or more of the following : hardware, software, humans, processes (e.g., review process), procedures (e.g., operator instructions), facilities, and naturally occurring entities (e.g., water, organisms, minerals). In practice, they are thought of as products or services. The perception and definition of a particular system, its architecture and its system elements depend on an observer's interests and responsibilities. One person's system - of - interest can be viewed as a system element in another person's system - of - interest. Conversely, it can be viewed as being part of the environment of operation for another person's system - of - interest. Un système est un ensemble intégré d'éléments qui accomplissent un objectif défini. [INCOSE¹2004]

1. The International Council on Systems Engineering (INCOSE) is a not-for-profit membership organization founded in

Nous nous restreindrons à caractériser les systèmes conçus par l'homme et nous les définissons par :

Un système est un ensemble de composants qui collaborent à la réalisation d'un ensemble de tâches en vue de fournir un ensemble de services, cet ensemble est soumis à un environnement donné et interagit ainsi avec un sous-ensemble des éléments de cet environnement.

1990. Our mission is to share, promote and advance the best of systems engineering from across the globe for the benefit of humanity and the planet.

1.2 Ingénierie système

L'Ingénierie Système (ou ingénierie des systèmes) est une démarche méthodologique générale qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes.

L'ingénierie Système, dans la démarche de conception, s'appuie à la fois

- sur l'analyse de l'existant, pour cela (phase d'appropriation de l'existant), on essaie de répondre aux questions :
 - Pourquoi le système a-t-il été conçu ainsi ?
 - Comment peut-on le faire évoluer ?
- sur les possibilités d'innovation :
 - en essayant de mieux définir les souhaits des clients potentiels, c'est la phase de capture des besoins et de définition des exigences attendues,
 - en recherchant des nouvelles solutions technologiques.

1.3 Analyse fonctionnelle et le cahier des charges

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et / ou valoriser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur.

Elle permet donc de rechercher et caractériser les fonctions offertes par un produit placé dans un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

L'objectif de l'analyse fonctionnelle est d'établir le cahier des charges du produit

Pour établir le cahier des charges et analyser le produit nous allons utiliser un ensemble de diagrammes du langage de description SysML (Système Modeling Language).

Le cahier des charges doit permettre d'établir les différentes exigences que doit respecter le système.

1.4 Un langage de description des systèmes : SysML

Nous l'avons dit, il est difficile de décrire un système. La description littérale peut suffire pour décrire un système simple mais est généralement insuffisante pour décrire un système complexe.

Activité 2 - Aspirateur

Corrigé page ??

Q1. Décrire l'aspirateur automatique de la figure 1.1. en précisant les différentes exigences qu'il doit satisfaire.

La description littérale des systèmes étant souvent difficile et ambiguë, la description graphique est préférée. Le langage SysML est un langage graphique basé sur des diagrammes qui permet de décrire un système selon différents point de vue.

1.4.1 Les diagrammes

SysML est un langage d'étude et de description des systèmes.

Le langage est la capacité d'exprimer une pensée et de communiquer au moyen d'un système de signes (vocaux, gestuel, graphiques, tactiles, olfactifs, etc.) doté d'une sémantique, et le plus souvent d'une syntaxe. Plus couramment, le langage est un moyen de communication [wikipédia].

Le langage SysML (<http://fr.wikipedia.org/wiki/SysML>), correspond à cette définition, c'est un langage graphique qui comporte 9 diagrammes chacun décrivant le système selon un point de vue particulier.

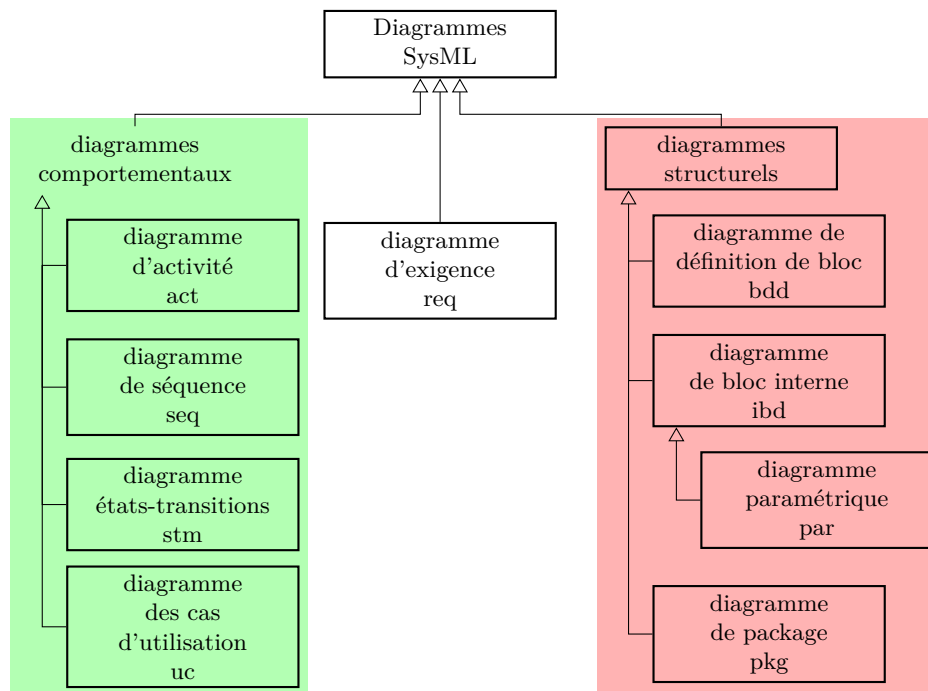


Figure 1.2 – Les diagrammes SysML

C'est un langage basé sur UML², un langage de description des projets informatiques, il en reprend la symbolique et la syntaxe en ajoutant des diagrammes spécifiques à la description et l'analyse des système et en supprimant ceux dédiés aux projets informatiques.

Le langage de description UML est utilisé par les plus grandes les sociétés informatiques, plusieurs logiciels dédié à l'UML avec des plugins SysML existent³.

Les diagrammes SysML regroupent les différents diagrammes qui vont traduire les fonctionnalités, la structure, le comportement et les exigences du système.

2. http://fr.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language

3. http://fr.wikipedia.org/wiki/Comparaison_des_logiciels_d'UML

1.5 Exemple guide : balance de ménage

1.5.1 Description

Cette balance de cuisine permet de mesurer aussi bien des liquides que des produits solides jusqu'à 4 kg grâce à son large plateau en verre qui accepte tous les récipients, la précision annoncée est de 1 g. Elle est proposée dans un grand choix de couleurs des plus classiques aux plus tendances afin de s'intégrer à toutes les cuisines, son faible volume (25 cm × 20 cm × 4 cm) assure un rangement et une manipulation aisés.

Un mode de tarage automatique permet à la fois de prendre en compte la masse du récipient mais aussi de réaliser un pesage cumulatif des différents ingrédients d'une recette en les ajoutant successivement dans le même bol.

Un mode de conversion kg / l permet d'obtenir l'équivalent en volume d'eau de la quantité pesée.

Fonctionne avec 1 pile Cr2032 incluse.



Figure 1.3 – Balance de ménage Halo®

1.5.2 Décrire l'environnement : diagramme de contexte

Le diagramme de contexte va nous permettre de décrire l'environnement du système.

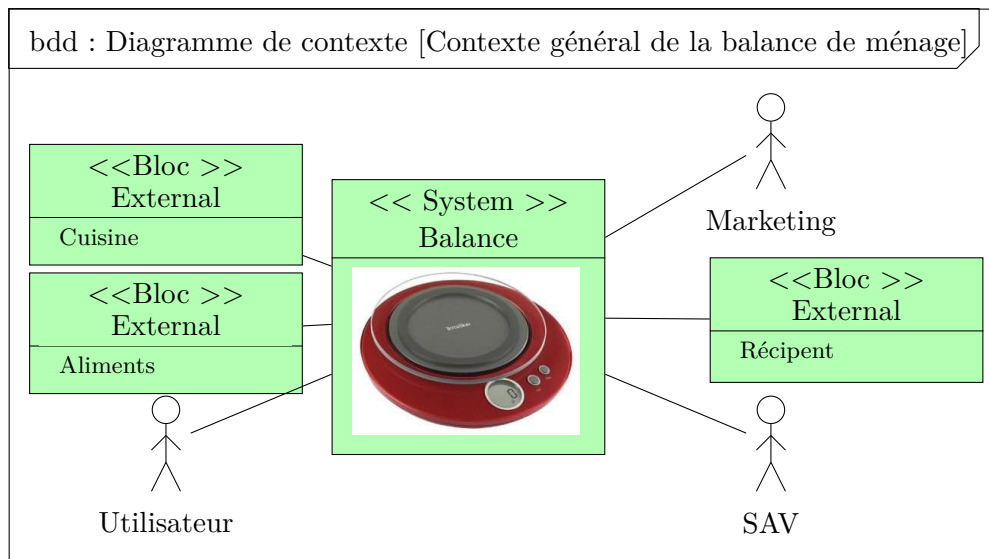


Figure 1.4 – Diagramme de contexte général

La première étape que se soit en phase de conception d'un nouveau produit ou de l'analyse de celui-ci consiste à capturer (recueillir) les besoins et le contexte. La définition du contexte commence par l'établis-

sement de la frontière du produit étudié. Le produit est au centre et on trouve autour tous les intervenants, les acteurs du système, C'est à dire :

- Définir le contexte général dans lequel le produit va être utilisé.
- Définir les acteurs humains ou non qui vont interagir avec le système.
- Définir les fonctionnalités attendues du système.
- Définir le contexte technique du produit.
- Définir le fonctionnement dynamique de chaque fonctionnalité.
- Définir les besoins en interface homme machine (IHM).
- Rédiger un cahier des charges fonctionnel et technique qui permettra à la fois de réaliser le produit et de le valider au fur et à mesure.

Le terme d'acteur (qui agit sur le système) est à prendre au sens large et pas uniquement au sens humain. Dans ce diagramme, on retrouve les différents acteurs susceptibles d'avoir un rôle sur le système « Balance ».

On le limite ensuite à celui de l'utilisation courante avec l'acteur principal.

Remarque : Le diagramme de contexte n'est pas un diagramme défini dans la norme SysML, il est construit à partir d'un diagramme de définition de bloc (bdd) ou d'un diagramme de blocs internes (ibd).

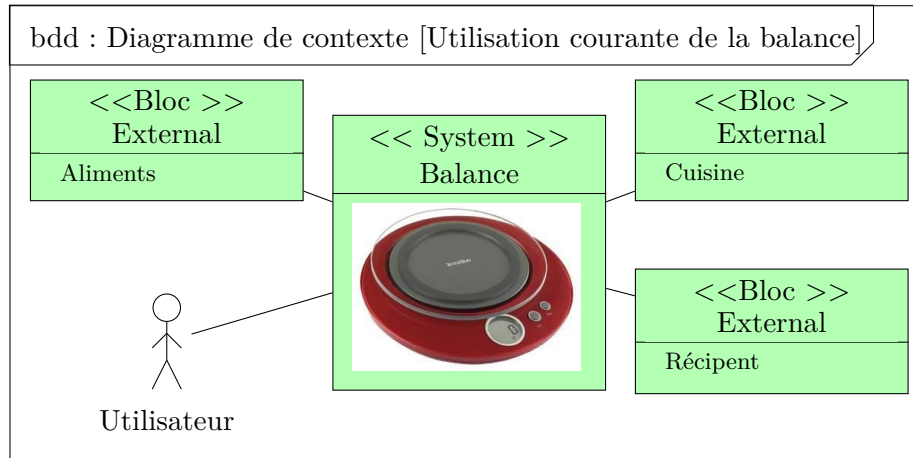


Figure 1.5 – Diagramme de contexte limité à l'usage principal

1.5.3 Identifier les cas d'utilisation : diagramme des cas d'utilisation

Le système étudié est toujours analysé au travers de différents point de vue ou en utilisant le vocabulaire des diagrammes SysML, au travers de différents cas d'utilisation (use case en anglais⁴).

diagramme	description
uc use case cas d'utilisation	le diagramme de cas d'utilisation permet de représenter les fonctionnalités du système dans leur contexte

Le diagramme de cas d'utilisation est un schéma qui montre les cas d'utilisation (représenté par des ovals) reliés par des associations (lignes) à leurs acteurs (icône d'un stick man). Chaque association signifie simplement « participe à »

Les cas d'utilisation sont décrits par un verbe à l'infinitif.

On peut commencer par définir les différents acteurs du système et pour chacun définir les fonctions.

Du point de vue d'utilisateur, on distingue 3 cas d'utilisation

- peser,
- tarer,
- convertir kg / l.

Le tarage possède deux modes, un mode obligatoire, la mise à zéro initiale puis un mode à la demande permettant des pesées cumulées ou au changement de récipient.

Il est possible sur ce diagramme de préciser aussi la nature des liens entre les différents cas d'utilisation :

4. vous avez noté que les différents diagrammes et éléments sont notés en anglais, la norme actuellement n'est définie qu'en anglais!!!

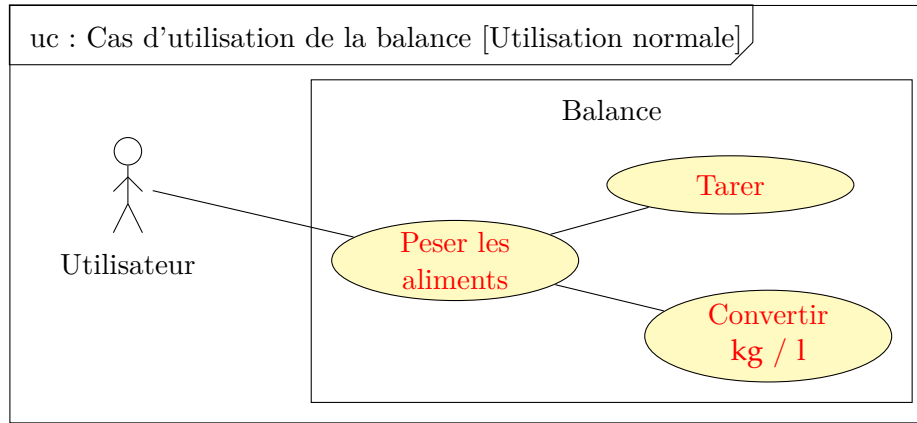


Figure 1.6 – Diagramme général des cas d'utilisation de la balance

- un lien de type « include » entre la pesée et le tarage (le tarage est obligatoire)
- un lien de type « extend » entre la pesée et la conversion (non nécessaire à la pesée) qui complète le système ou précise une option.

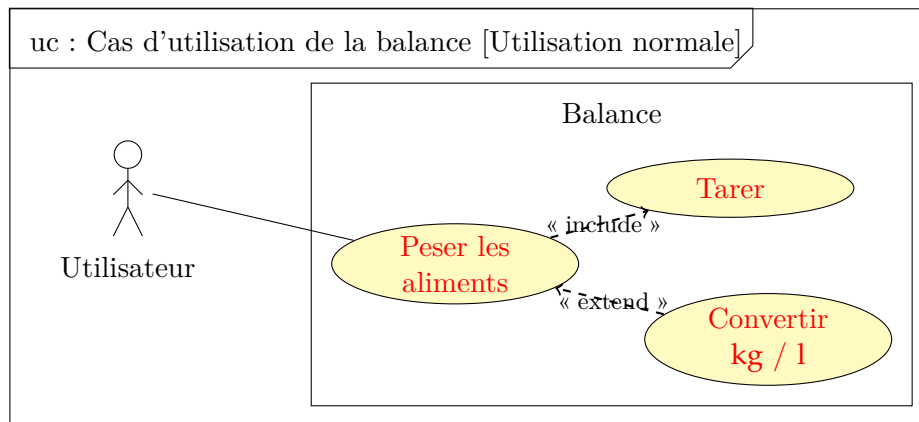


Figure 1.7 – Diagramme général des cas d'utilisation de la balance

1.5.4 Décrire les exigences du système : diagramme d'exigence

En parallèle à la définition des cas d'utilisation, il faut se poser la question des capacités que doit posséder le système mais aussi les contraintes qu'il doit respecter. Dans la symbolique du langage de description SysML, ces contraintes et ces capacités sont les exigences que doit remplir le système.

Le diagramme d'exigence est le schéma associé à cette description.

L'objectif du diagramme d'exigences est de traduire graphiquement et hiérarchiquement les capacités et les contraintes que doit satisfaire le système.

Le (les) diagramme(s) d'exigences va (vont) permettre de décrire les besoins que doit satisfaire le système. Ils permettent de construire la hiérarchie des exigences en utilisant des mécanismes tels que la composition et la dérivation, ainsi que des relations avec d'autres éléments de modélisation pour tracer, raffiner, satisfaire ou vérifier ces exigences.

diagramme	description
req requirements exigences	Le diagramme des exigences permet de représenter les contraintes techniques ou non du système

On peut commencer par définir les exigences générale du système.

L'exigence principale de la balance est bien sûr Peser les aliments. Le système doit pour cela :

- mesurer la masse,
- supporter un récipient,
- permettre des mesures cumulées.

Une dernière exigence, plus ergonomique que fonctionnelle peut être ajoutée

- faciliter le transport et le rangement.

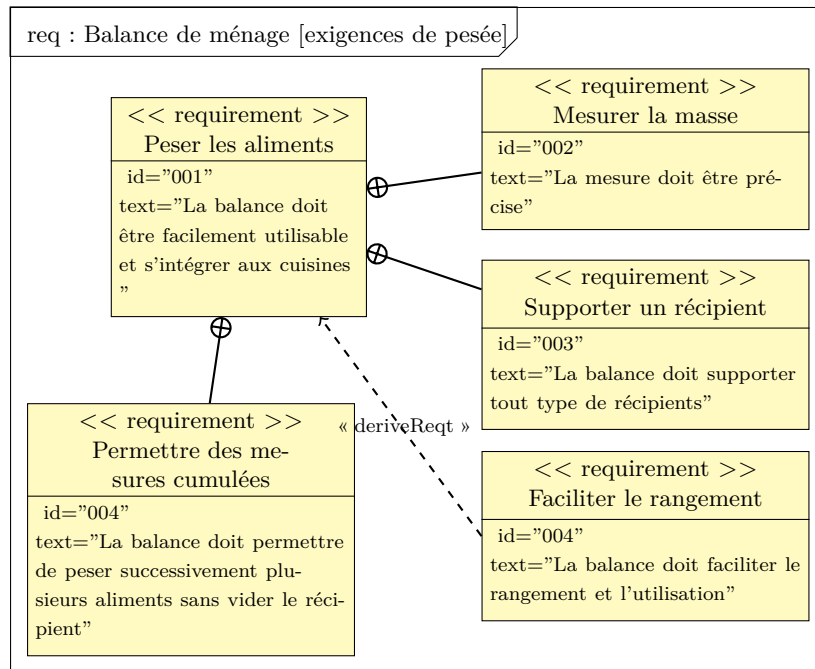


Figure 1.8 – Diagramme d'exigence de la balance de ménage

On retrouve sur le diagramme les 3 exigences principales de la balance, elles sont toutes les trois liées à l'exigence principale par un lien de contenance, en effet, ces trois exigences sont nécessaires pour réaliser la

pesée. Par contre la dernière exigence, elle participe à l'amélioration de l'utilisation mais n'est pas nécessaire à la pesée, cette exigence est précisée par un lien de dérivation d'exigence.

Cette analyse peut encore être affinée. Sur le diagramme d'exigences suivant (figure ??), un nouveau niveau d'exigence a été ajouté sous l'exigence Faciliter le rangement qui apporte des précisions sur les notions d'autonomie et de rangement.

Sur la figure ?? on distingue différents liens entre les exigences ou les autres éléments, la signification de ces liens est précisée dans le tableau 1.1.

En complément de l'exigence Mesurer la masse, l'exigence de précision du cahier des charges a été ajoutée. Le lien entre les deux exigences est un lien qui affine la description, il est noté avec le mot clef « refine », .

On note aussi que le respect de l'exigence Supporter un récipient est réalisée par un plateau en verre. Cette solution est précisée dans un « block » et un lien noté « satisfy » lie l'exigence au bloc.

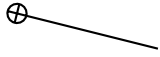
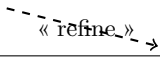
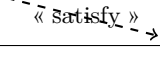
Contenance	précise la décomposition d'une exigence en exigences unitaires (l'exigence principale est coté cercle avec la croix)	
Raffinement refine	l'exigence pointée par la flèche est précisée par celle à l'autre extrémité	
Derivation deriveReq	indique que l'exigence pointée par la flèche induit l'exigence en queue de flèche	
Satisfaction satisfy	l'exigence pointée par la flèche est satisfaite par l'élément (en général un bloc) en queue de flèche	

Table 1.1 – Les différents liens du diagramme d'exigence

Dans ce diagramme, apparaît un autre élément des diagrammes SysML, le « block ». Ici, le block plateau caractérise le constituant matériel plateau qui satisfait (lien satisfy) l'exigence « supporter un récipient ».

Il est possible d'aller plus loin dans la description des exigences en précisant la nature des exigences.

- Exigences fonctionnelles - functionalrequirement - elles précisent les exigences qui découlent d'une caractéristique fonctionnelle que doit posséder le produit.
- Exigences physiques - physicalrequirement - elles décrivent les exigences qui découlent d'une propriété physique du produit.
- Exigences de performance - performancerequirement - décrivent le niveau de qualité d'une exigence.
- Exigences d'usage -usabilityrequirement - décrivent les critères d'utilisation (d'usage) que doit posséder le produit.

Le diagramme des exigences de la figure 1.9 précise pour la balance de ménage la décomposition des ces exigences.

Il est aussi possible des décrire des exigences qui ne sont directement fonctionnelles comme des exigences commerciales, de marketing ou du design.

Le diagramme des exigences ne sert pas seulement à placer des contraintes dans le modèle. Il permet aussi de ramener des éléments venant d'autres diagrammes du modèle et ainsi de vérifier qu'une exigence a bien été prise en compte. Le « block » plateau est un éléments qui vient du diagramme de définition de bloc qui satisfait une des exigences du système.

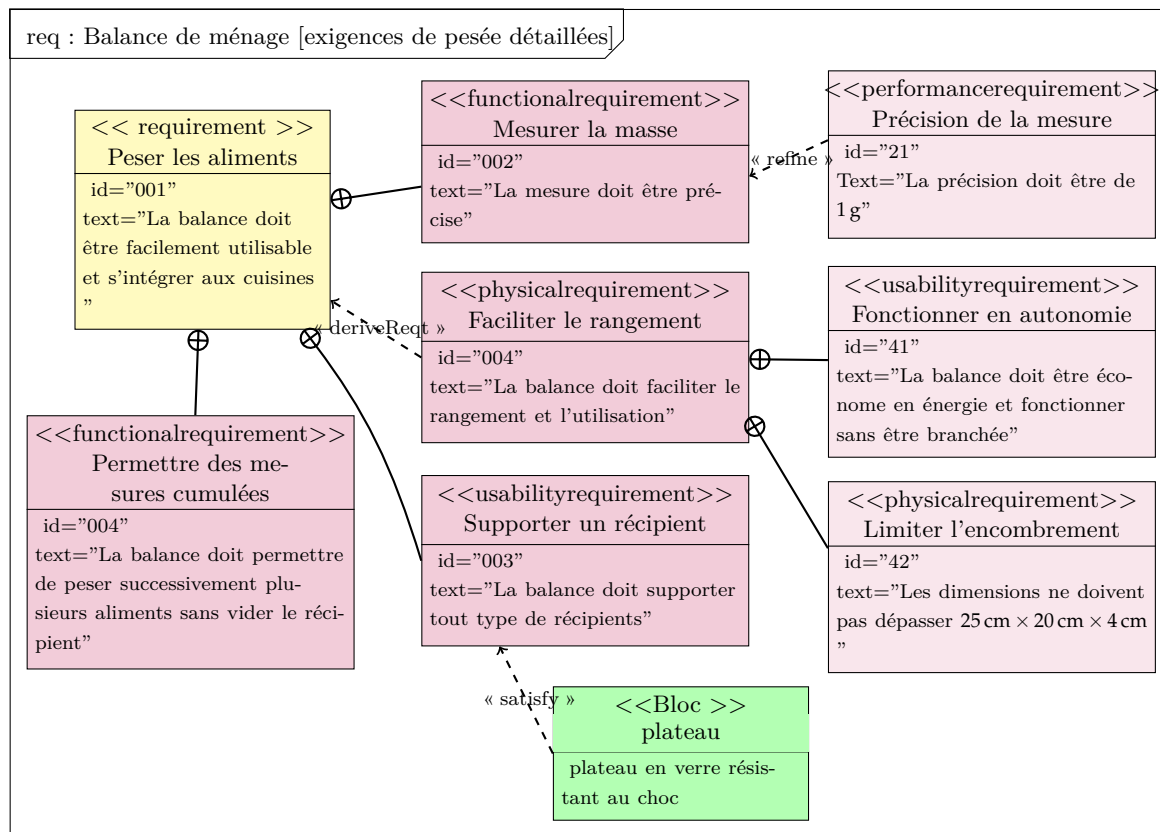


Figure 1.9 – Diagramme d'exigence avec nature des exigences

1.5.5 Préciser la constitution du système : diagramme de définition de blocs

L'étape suivante de l'analyse du système doit décrire les éléments constituant le système. Le diagramme de définition de blocs (bdd) est utilisé pour préciser les éléments constituant le système.

type abrégé diagramme	description
bdd : block definition définition de bloc	le diagramme de définition de blocs représente la structure globale du système. il montre les constituants de base statiques (voir 1.5.5) : blocs, compositions, associations, attributs, opérations, généralisations,...

Ce diagramme est construit en respectant la structure physique et logicielle du système. Les liens (voir tableau 1.2) entre les différents constituants sont indiqués par des liens précisant la dépendance de chacun des constituants.

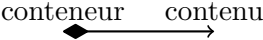
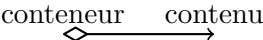
Composition	le bloc conteneur a nécessairement besoin du bloc contenu pour fonctionner	
Agrégation	le bloc conteneur n'a pas nécessairement besoin du bloc contenu	
Association	les blocs ne sont hiérarchiquement liés	

Table 1.2 – Les différents liens du diagramme de définition de bloc

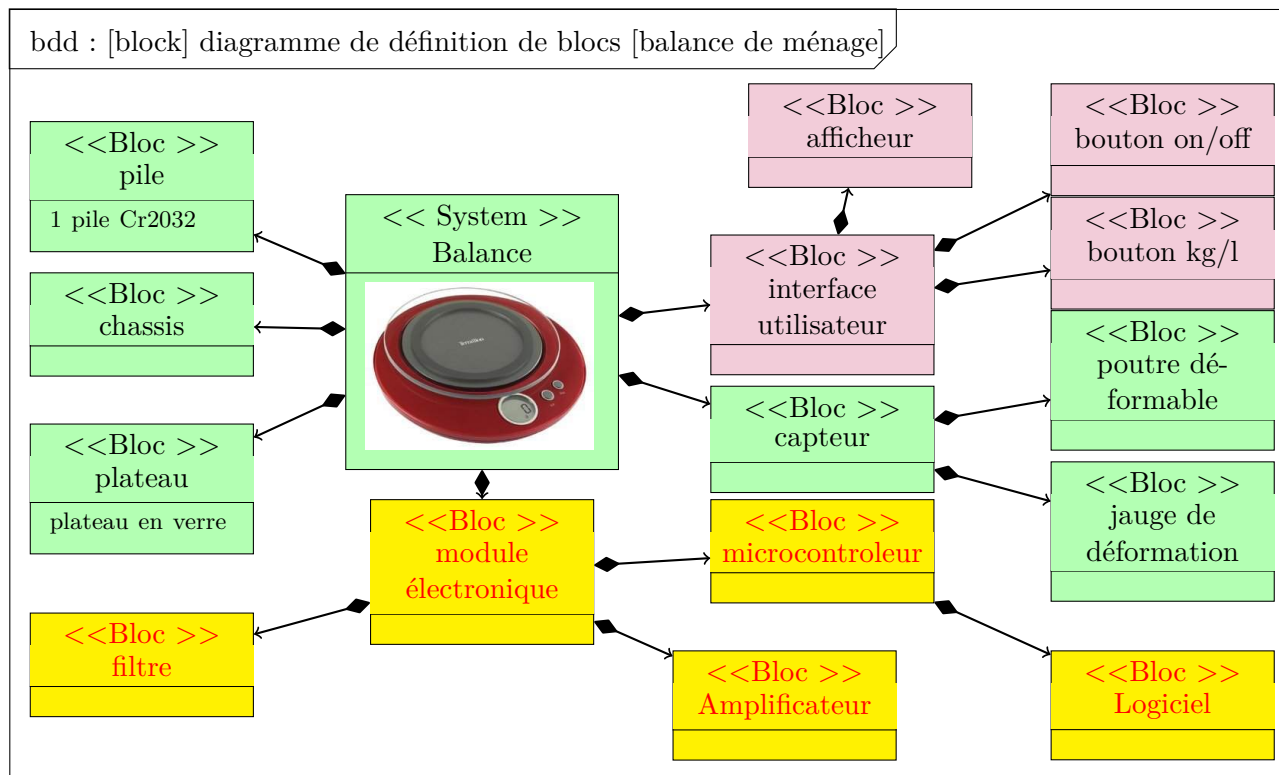


Figure 1.10 – diagramme de définition de blocs de la balance de ménage

Sur le diagramme de la figure 1.10 on note que la balance comporte 5 constituants principaux (le châssis, le plateau, le capteur, la pile et l'interface utilisateur), tous ces éléments sont nécessaires au fonctionnement de la balance, ce qui est précisé par les liens de composition. L'interface utilisateur est aussi décomposée.

Chaque bloc peut être plus ou moins détaillé en fonction de la finesse de l'étude. Un bloc peut ainsi comporter plusieurs éléments complémentaires :

- values : précisent quantitativement les valeurs caractéristiques du bloc.
- constraints : les contraintes précisent des relations, équations entre les paramètres du bloc
- params
- parts : précisent les parties (sous-parties) constituant le bloc
- références

<<Bloc >> Nom du Bloc
Values
— valeurs 1
— valeurs 2
Constraints
— contrainte 1
— contrainte 2
parts
— partie 1
— partie 2

Figure 1.11 – détails d'un bloc

1.5.6

Préciser les liens et les flux : diagramme de blocs interne

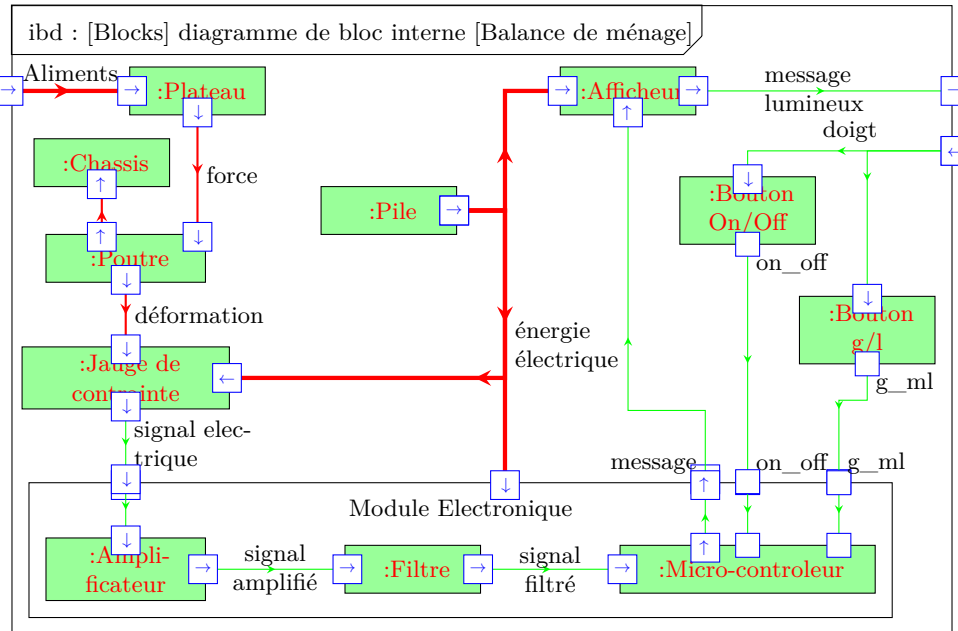


Figure 1.12 – diagramme de bloc interne

Le diagramme de blocs interne (ibd) permet lui de préciser les flux qui transitent entre les différents blocs du système.

type abrégé diagramme	description
ibd : internal block bloc interne	le diagramme de bloc interne montre l'organisation interne d'un bloc et les flux qui relient les blocs le constituant (voir 1.5.6 page précédente)

Les flux peuvent être de toute nature : matière, énergie, information. Sur chaque bloc, les ports précisent la nature des flux échangés.

On retrouve ainsi sur la figure 1.12 le diagramme de bloc interne de la balance de ménage, on y distingue :

- le flux d'énergie électrique qui va de la pile aux différents constituants
- le flux de la pesée, de la dépose des aliments sur le plateau, le poids déforme la poutre qui étire (comprime) les jauges de déformation.
- cette déformation génère un signal électrique de faible amplitude (qq **mV**), qu'il est nécessaire d'amplifier puis de filtrer afin d'avoir un signal électrique « propre » à l'entrée du microcontrôleur.
- le microcontrôleur à partir des deux informations issues des boutons et du signal filtré, génère un message affiché sur l'afficheur.

Le logiciel n'apparaît pas, il est inclut dans le bloc du microcontrôleur.

Nous utiliserons ce diagramme pour décrire les chaînes d'énergie et d'information d'un système en l'associant avec d'autres représentations.

1.5.7 Décrire la succession des états : diagramme d'états transition

Le diagramme d'états-transition (State machine diagram) permet de décrire la suite des états d'un (un système, un sous-système). Chaque état décrit une situation dans laquelle se trouve le bloc, les liens entre les différents états représentent les différentes évolutions possibles d'un état en un autre. Le passage d'un état à un autre se fait en franchissant la transition liée au lien.

diagramme	description
stm state machine état-transition	le diagramme d'états illustre les les changements d'états d'un système ou d'un sous système. Il décrit les transitions entre états et les actions qu'un système réalise en réponse à des événements.

On peut ainsi décrire la succession des états de la balance par le diagramme suivant.

Ce diagramme correspond à une description élémentaire et incomplète du fonctionnement. Il décrit le cycle suivant :

- l'utilisateur appuie sur le bouton marche ($\text{On_Off}==1$) cet événement active l'état du Tarage ;
- dès que le tarage est terminé, le pesage le pesage peut-être réalisé ;
- un nouvel appui sur le bouton tarage ($\text{BP_tarage}==1$) replace le système dans l'état Tarage ;
- un appui sur On_Off place le système dans un mode d'arrêt à condition que le bouton ne soit pas relâché ($\text{On_Off}==0$) dans un délai de 2s, au bout du délai, la balance s'éteint.

Le diagramme suivant (figure 1.14) présente une évolution prenant en compte d'autres possibilités d'évolution :

- la possibilité de réaliser une conversion poids / volume équivalent à la demande

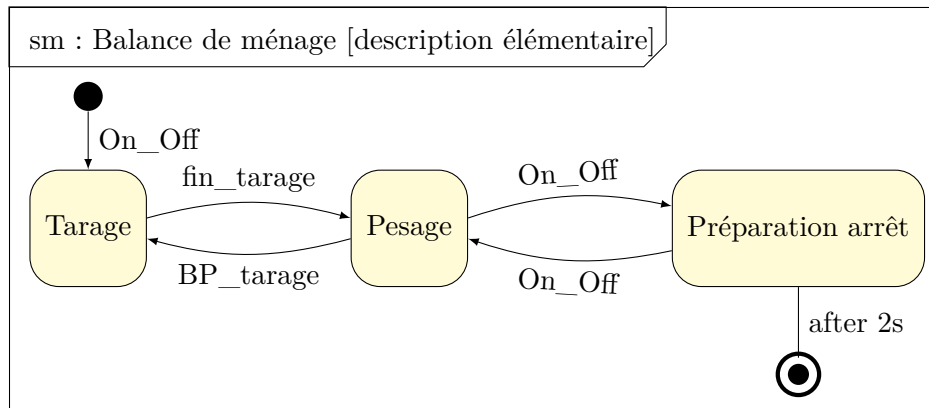


Figure 1.13 – Diagramme états-transitions de la balance de ménage - [description élémentaire]

— l'arrêt en cas d'inactivité au bout d'une minute.

Les actions associées aux états peuvent être réalisées à trois instants particuliers

- à l'entrée dans l'état, cet instant est identifié par le mot clef : entry, la tâche associée est effectuée à chaque fois que l'état est activé.
- à la sortie de l'état, cet instant est identifié par le mot clef : exit, dès qu'une transition peut être franchie, l'action associée à la sortie de l'état est réalisée.
- pendant la durée de l'état : le mot clef do précise les actions qui seront réalisées pendant la durée d'activité de l'état.

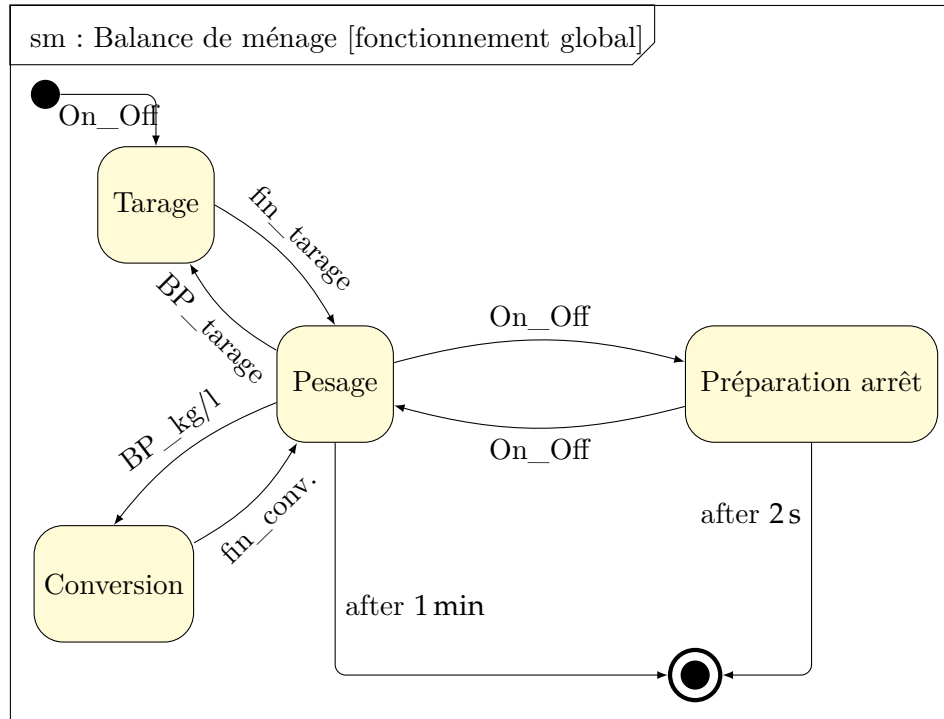


Figure 1.14 – Diagramme états-transitions de la balance de ménage

La syntaxe complète des transitions s'écrit : événement[garde]/action et comporte trois éléments.

- L'événement est l'élément déclenchant la transition, dès qu'il est vrai (état logique vrai) le franchissement peut avoir lieu.
- La condition de garde, est une condition logique optionnelle qui, lorsqu'elle est présente doit être vraie pour que la transition soit franchie.
- L'action, est réalisée, si elle est présente, dès que la transition est franchie.

Un état peut inclure lui-même un diagramme état-transition.

Le diagramme état-transition sera décrit plus complètement au deuxième semestre lors de l'étude des systèmes à événements discrets.

1.5.8 Décrire le comportement : diagramme de séquence

À chaque cas d'utilisation correspond un diagramme de séquence, ce diagramme décrit les interactions entre les différents éléments qui participent à la réalisation du cas d'utilisation (les acteurs et le système). Il répond à la question : « Comment est réalisé ce cas d'utilisation ? ».

diagramme	description
sd sequence séquence	Le diagramme de séquence permet de représenter les échanges entre différentes parties d'un système, et avec des systèmes ou acteurs externes au système. Il décrit, en particulier, les cas d'utilisation.

On retrouve sur le diagramme de séquence de la balance (figure 1.15) les principaux éléments :

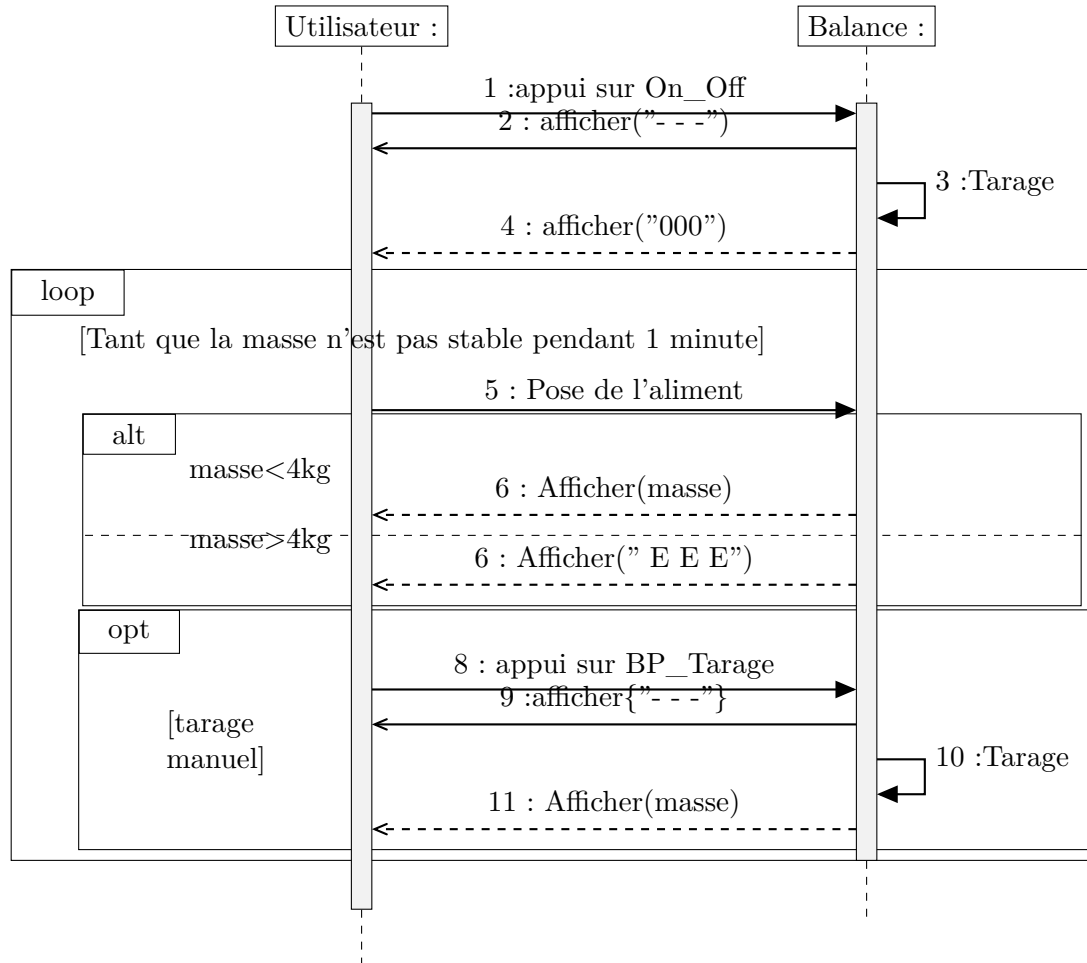


Figure 1.15 Diagramme de séquence de la balance de ménage

- les acteurs et le système : chaque élément est représenté dans un cadre, une ligne de vie en pointillé verticale, montre le déroulement du temps.
- les 3 types de messages échangés :

Message synchrone :

ce message est émis par un des éléments vers un autre. Le message émis est précisé sur la flèche.
Ce type de message attend une réponse.

1 : message synchrone →

Réponse à un message synchrone :

La réponse est précisée sur la flèche.

← 2 : réponse

Message asynchrone :

Ce message est émis sans attendre de réponse.

← 3 : message asynchrone

- quelques structures de description :
 - loop** le contenu de la structure loop, est exécutée en boucle tant que la condition n'est pas vraie (structure Tant Que cond. Faire ...);
 - alt** la structure alt précise les évolutions alternatives (structure Si cond Alors cas vrai Sinon ...);
 - opt** la structure opt précise les évolutions optionnelles (structure Si cond Alors Faire ...);
- nous verrons d'autres structures dans les exemples (structure parallèle par).

Le diagramme de séquence sera décrit plus complètement au deuxième semestre lors de l'étude des systèmes à événements discrets.

1.5.9 Simulez et validez le comportement : diagramme paramétrique

Le diagramme paramétrique est construit à partir du diagramme des blocs internes, en complétant celui-ci à l'aide des équations de comportement, il est possible alors de valider le comportement du système.

type abrégé diagramme	description
par : parametric paramétrique	le diagramme paramétrique modélise le comportement d'un bloc ou plusieurs dans le temps à partir des équations qui le régissent

Le logiciel n'apparaît pas, il est inclut dans le bloc du microcontrôleur.

Nous utiliserons ce diagramme pour décrire les chaînes d'énergie et d'information d'un système en l'associant avec d'autres représentations.

1.5.10 Décrire l'organisation matérielle et logicielle : diagramme de package

Le diagramme de package n'est pas explicitement au programme, nous ne le développerons qu'au travers des exercices.

type abrégé diagramme	description
pkg : package package	le diagramme de packages montre l'organisation logique du modèle et les relations entre packages

1.5.11 Symbolisation

Tous les diagrammes sont représentés dans un cadre avec un cartouche précisant la nature du diagramme

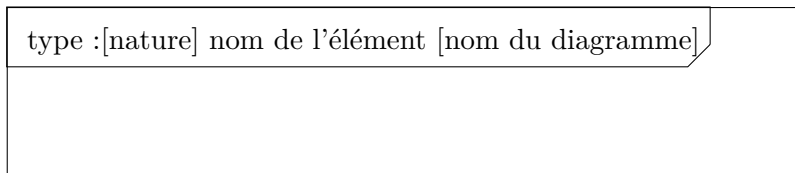


Figure 1.16 – Cartouche des diagrammes SysML

L'abréviation (req, uc, ibd, bdd, ...) indique le type de diagramme, on complète la désignation du diagramme par le nom de l'élément étudié. Le nom du diagramme permet de préciser le niveau d'approfondissement.

1.6 Classification des systèmes

1.6.1 Selon la nature de la commande

Les systèmes peuvent être classés dans trois grandes catégories selon la nature de la commande :

Systèmes non mécanisé : ces systèmes regroupent tous les systèmes pour lesquels l'utilisateur contribue à la fois à la commande et à l'énergie. Un vélo est un bon exemple de cette famille de système.

Systèmes mécanisés : l'utilisateur ne fournit plus l'énergie nécessaire au fonctionnement, son rôle est de commander le système. L'utilisateur est nécessaire, le système n'étant pas capable de décider. Une moto, une voiture, un aspirateur, sont des exemples de système mécanisé.

Systèmes automatisés : l'algorithme de décision est implémenté dans la partie commande du système, à partir des consignes de fonctionnement indiquées par l'utilisateur, le système peut évoluer seul. Un robot aspirateur, est un exemple de l'évolution de l'aspirateur. La voiture sans conducteur⁵ est un modèle du futur de la voiture automatisée.

5. http://fr.wikipedia.org/wiki/Voiture_sans_conducteur_de_Google

1.6.2 Selon la la nature des informations

Un autre possibilité de classification est de s'intéresser à la nature des informations échangées

Systèmes tout ou rien : les systèmes tout ou rien, sont les systèmes pour lesquels l'évolution du comportement ne dépend que de l'évolution de variables binaires (marche/arrêt, ouvert/fermé, présent/absent, 5 V/ 0 V, ...). Dans un système tout ou rien, les grandeurs physiques ne sont prises en compte que lors du franchissement des seuils ($\text{température} > T_{\text{seuil}}$).

Systèmes continus : dans un système continu, on ne s'intéresse pas uniquement au franchissement de seuils des grandeurs physiques, mais à l'évolution temporelle des signaux analogiques que manipulent le système.

Systèmes échantillonnés : L'informatisation des partie commandes (automate, microprocesseur, microcontrôleur,...) qui même si elle a une capacité de calcul et une fréquence de fonctionnement de plus en plus grande ne peut prendre en compte l'évolution d'une grandeur physique qu'à des instants particuliers. Il est donc nécessaire d'échantillonner le signal physique, c'est à dire le prélever à des instants T_e .

1.7 Description générique d'un système automatisé

On peut représenter la structure générale d'un système automatisé par le schéma de la figure 1.17.

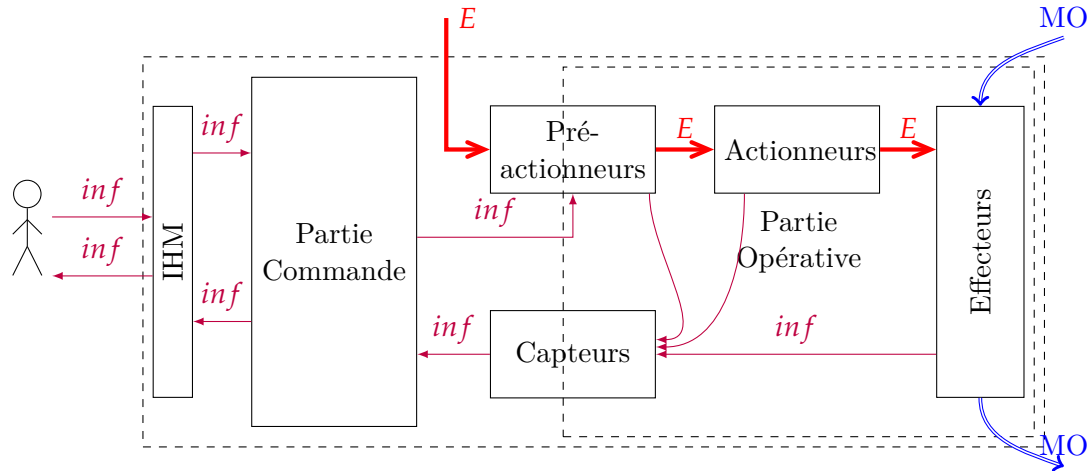


Figure 1.17 – décomposition structurelle d'un système automatisé

On retrouve sur ce schéma, les principaux constituants d'un système :

- une partie commande : elle communique avec l'opérateur mais aussi les autres système, elle émet vers la partie opérative les signaux de commande des actionneurs, elle reçoit des capteurs les informations sur le système.

- une partie opérative : elle comporte les différents constituants qui agissent sur la matière d'œuvre pour la modifier, les actionneurs nécessaires à ces actions.
- une interface avec l'opérateur : le pupitre ou IHM comporte les constituants qui facilitent le dialogue avec l'utilisateur.
- les capteurs prélèvent sur la partie opérative l'état des différents constituants.
- les pré-actionneurs ou modulateurs, autorisent le passage de l'énergie vers les actionneurs.

Une représentation usuelle de ces chaînes fonctionnelles est de les décrire à partir des fonctions réalisées par les différents constituants (fig 1.18).

Cette décomposition fait apparaître deux chaînes :

- La chaîne d'énergie (ou d'action)
- la chaîne d'information

1.7.1 Chaîne d'information

Cette chaîne est constituée des éléments qui manipulent les informations sous ses diverses formes. On retrouve ainsi

- un constituant chargé de gérer le système : en général ce constituant est construit autour d'un microprocesseur ou d'un microcontrôleur (PC, automate programmable, carte micro programmable, ...) mais peut aussi être réalisée à partir de constituants élémentaires à base d'amplificateurs opérationnels et de composants logiques ou séquentiels ;
- une interface avec l'utilisateur (IHM : interface Homme Machine) chargé de communiquer avec l'opérateur aussi bien en entrée qu'en sortie (clavier, écran, HP,...) ;

- de capteurs prélevant sur le système des informations physiques (pression, température, vitesse, position,...);
- de codeurs/convertisseurs chargés de traiter les signaux issus des capteurs (Convertisseur Analogique Numérique, Convertisseur Numérique Analogique, filtre, ...).
- d'interface et différents constituants de communication, dont ceux destinés à communiquer au système physique les ordres de commande.

1.7.2 Chaîne d'énergie

Cette chaîne est constituée des éléments qui participent à la transformation de l'énergie, de l'énergie brute du réseau aux constituants agissant réellement sur le produit.

- l'alimentation regroupe les constituants participant à la conformation de l'énergie du réseau en une énergie utilisable par le système (transformateur, régulateur,...).
- le modulateur autorise le passage de l'énergie vers les actionneurs et module celle-ci en fonction des ordres de commande envoyés par la chaîne d'information.
- les convertisseurs regroupent les constituants capables de transformer l'énergie en une autre énergie, les moteurs, les vérins, les radiateurs, ...sont des éléments de cette famille.
- transmetteurs : boîte de vitesse, engrenage, poulie courroie, ...
- effecteurs : les éléments agissants.

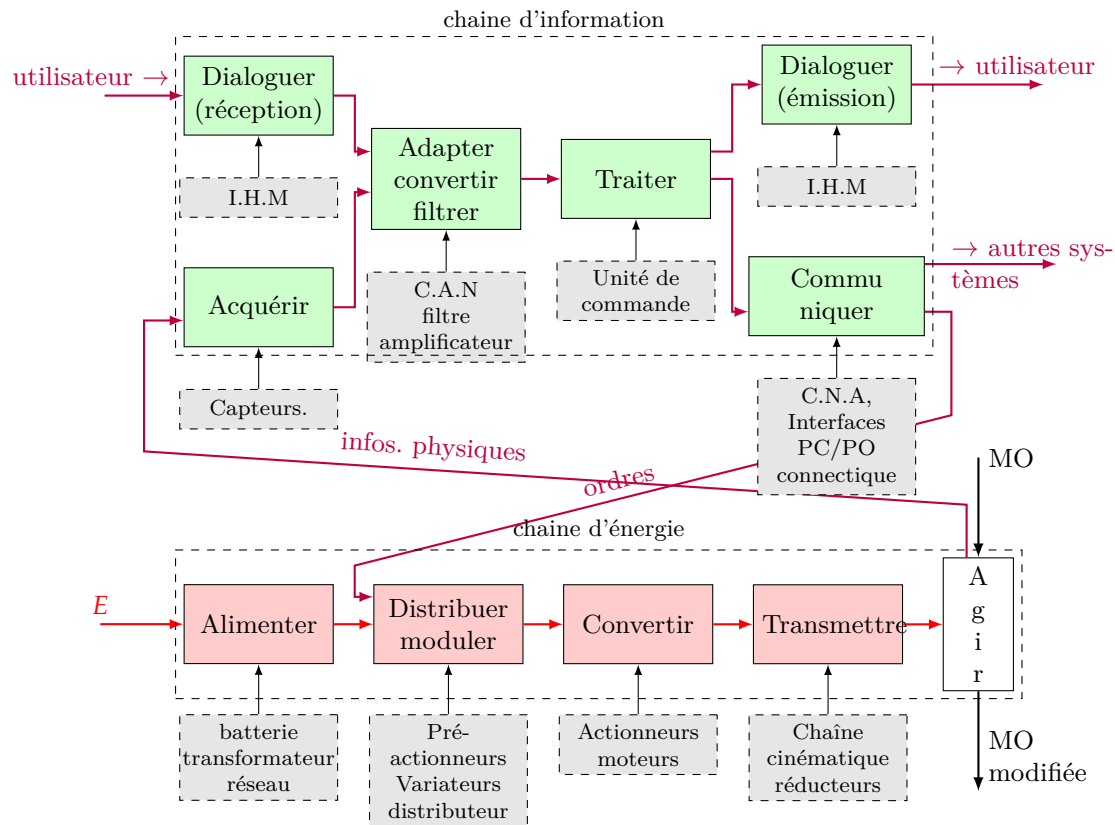


Figure 1.18 – Description fonctionnelles des chaînes d'information et d'énergie

1.7.3 Description SysML

Cette description usuelle de la structure d'un système automatisée peut être décrite à partir des diagrammes SysML.

Un diagramme des blocs internes (ibd) est un diagramme pertinent pour décrire ces deux chaînes et les différents flux entre les constituants et l'extérieur.

De manière générale, un système automatisé, peut être décrit par le diagramme SysML de la figure 1.19. Il comporte une partie commande (régulateur, contrôleur, ...) et une partie opérative (système régulé, système asservis,...). Le second diagramme (figure 1.20) précise les constituants et les flux entre ceux-ci.

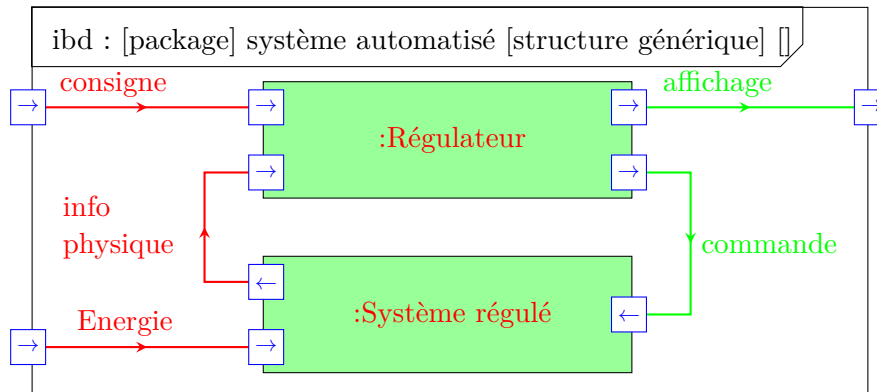


Figure 1.19 – Structure générique d'un système automatisé

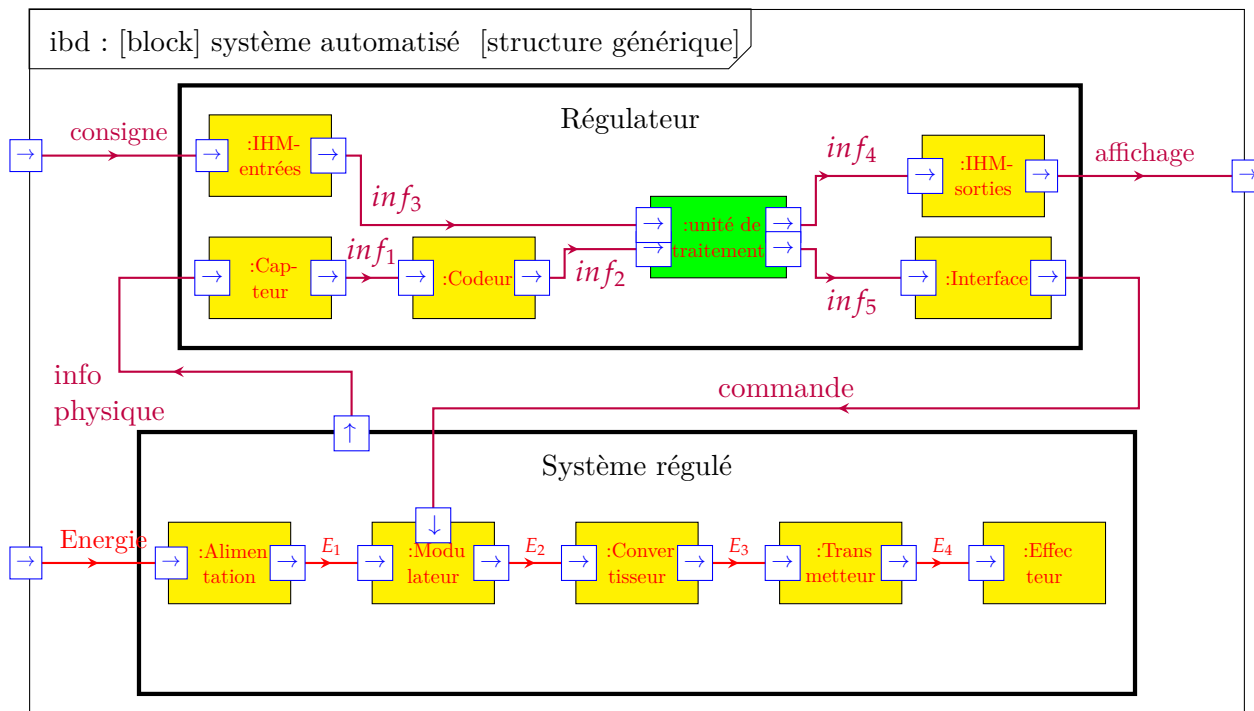


Figure 1.20 – Structure générique d'un système automatisé - détails

1.7.4 Les constituants de la chaîne d'énergie

Les exemples ci-dessous ne sont bien sûr pas exhaustifs, il existe un très grand nombre de solutions technologiques pour ces différentes fonctions. Je vous invite à chercher sur internet le fonctionnement de ces constituants afin d'améliorer votre culture technologique.

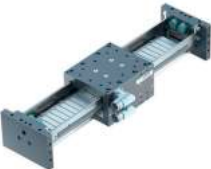
a) Alimenter

Pile électrique 	Réseau électrique 	Eolien 	Solaire 
Carburant 	Pneumatique 	Pile à hydrogène 	Autres ...

b) Distribuer

Énergie électrique		Énergie pneumatique
Relais électrique	Variateur électrique	Distributeur pneumatique
		

c) Convertir

Énergie électrique		Énergie pneumatique
Moteur rotatif	Moteur linéaire	Pompe
		
		Vérin
		

d) Transmettre

Énergie mécanique		
Poulie-courroie	Pignon-crémaillère	Engrenages
		

1.7.5 Constituants des chaînes d'information

a) Détecter

Il existe des capteurs à peu près pour tous les phénomènes physique à détecter :

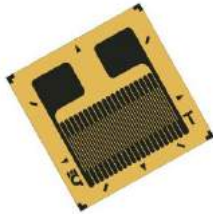
Détection de présence

capacitif	inductif	optique	à contact
			

Détection de position

capteur optique incrémental	capteur optique absolu	capteur angulaire potentiométrique	capteur de distance à ultrasons
			

autres

génératrice tachy- métrique	Thermocouple	jauge de déforma- tion
		

n'hésitez pas à rechercher sur Internet d'autres technologies de capteur.

b) Traiter

Micro-ordinateur	micro contrôleur	automate programmable
		