

Ingénierie des systèmes

Problématique

La description des systèmes, qu'ils soient de simples mécanismes ou des systèmes industriels relativement complexes, 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 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

La 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.

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).

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

Quelques définitions de systèmes

Les diverses définitions ci-dessous, sur lesquelles chacun peut s'accorder en raison de leur caractère descriptif, voire évusif, 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 primarily 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]

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.

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

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 points de vue.

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.

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 systèmes et en supprimant ceux dédiés aux projets informatiques.

Le langage de description UML est utilisé par les plus grandes les sociétés informatiques, plusieurs logiciels dédiés 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

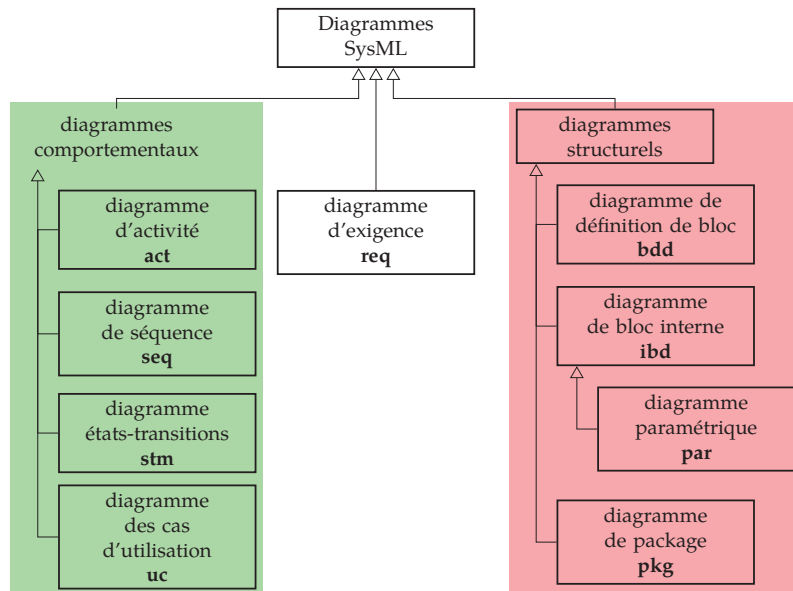


FIGURE 1.2 – Les diagrammes SysML

1.5 Exemple guidé : cafetière à capsules

1.5.1 Description commerciale

La cafetière LB est destinée aux petits espaces, aux bureaux, aux cabinets médicaux, Ses petites dimensions et ses lignes douces lui permettent de s'intégrer aussi bien sur un bureau que dans une cuisine. Elle est conçue pour une utilisation professionnelle.

Elle possède deux modes de fonctionnement principaux :

- un mode café court, espresso,
- un mode à volonté qui permet de déguster des cafés allongés, mais aussi des thés ou des chocolats.

Un mode de programmation facile d'accès permet de modifier le fonctionnement par défaut afin d'obtenir d'une simple pression sur la touche à volonté, la juste quantité de café.

Le bac à eau d'un volume de 1,2l est facile d'accès. le tiroir à capsules peut contenir 8 capsules usagées.

La cafetière LB est dotée d'une technologie qui procure un résultat parfait grâce à la pré-infusion et à l'extraction des arômes de café.



FIGURE 1.3 – Cafetière à capsules

Caractéristiques techniques :

- Alimentation électrique : 220-240 V – 50 Hz.
- Puissance nominale : 1300 W.
- Système électronique qui vérifie si le tiroir de capsules usagées est plein.
- Hauteur grille support de tasse réglable de 70 à 100 mm.
- Température de l'eau contrôlée électroniquement.
- Fonction économie d'énergie.
- Matériau de qualité : polycarbonate.
- Capacité du réservoir d'eau : 1,2 litre.
- Insertion manuelle de la capsule.
- Contrôle du niveau du réservoir d'eau par capteur flottant.
- Interface utilisateur 2 boutons de sélection.
- Doses programmables, arrêt automatique.
- Interface utilisateur d'alarme LED rouge.
- Éjection automatique des capsules usagées.
- Capacité du récipient à capsules usagées de 8 capsules Blue.
- Dimensions : 13 × 23,5 × 36 mm (L × H × P).
- Poids : 4,3 kg.

Utilisation

- Remplir le réservoir. Mettre sous tension.
- Placer une tasse sous la buse.
- Introduire une capsule, abaisser le levier.
- Un appui sur le bouton supérieur permet la délivrance d'un café court 40 ml (réglage usine) dès que la température est atteinte. La distribution s'arrête automatiquement à la fin de la distribution. Un nouvel appui pendant la distribution interrompt celle-ci.
- Le second bouton délivre de l'eau tant que le bouton est appuyé à condition que la température de l'eau soit suffisante.



FIGURE 1.4 – Pupitre de commande

- L'insertion d'une nouvelle capsule évacue automatiquement la capsule usagée.
- Si la quantité d'eau est insuffisante, la distribution ne débute pas.
- Le mode économie met en veille la cafetière après 30 minutes d'inactivité.
- Un simple appui sur un des deux boutons relance le chauffage et le cycle peut recommencer.

1.5.2 Décrire l'environnement : diagramme de contexte

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

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'établissement de la frontière du produit étudié. Le produit est au centre et on trouve autour tous les intervenants, les acteurs du systèmes, 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.

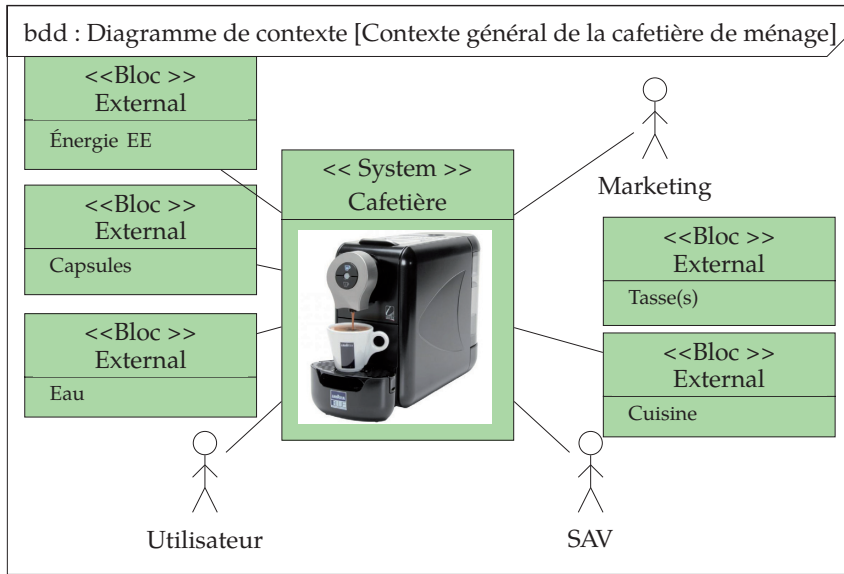


FIGURE 1.5 – Diagramme de contexte général

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.

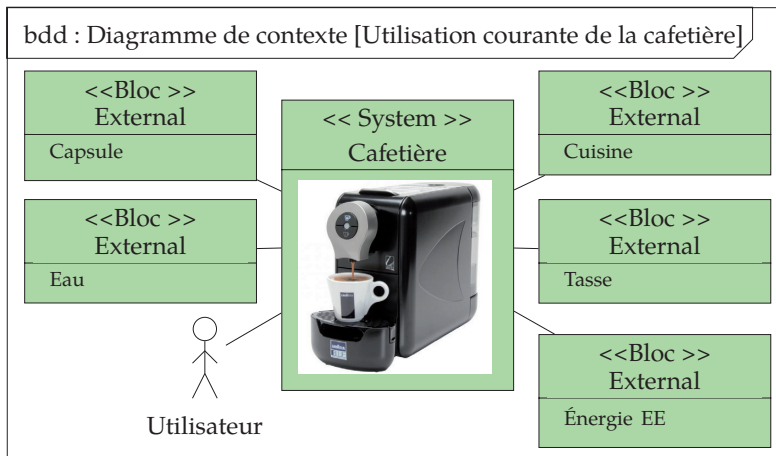


FIGURE 1.6 – Diagramme de contexte limité à l'usage principal

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).

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

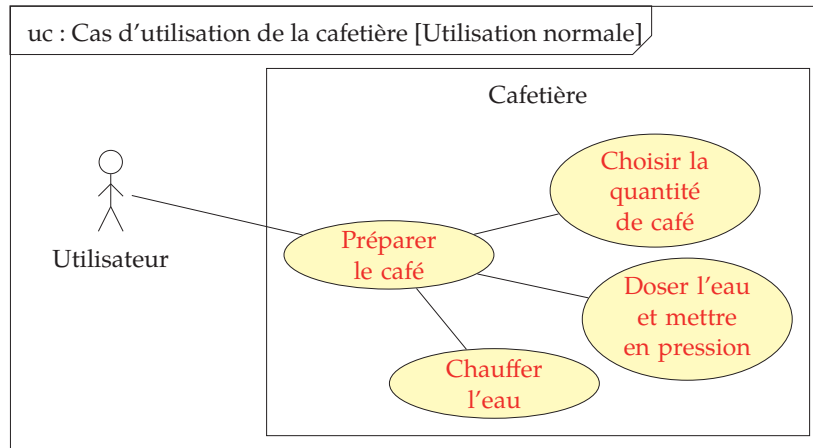


FIGURE 1.7 – Diagramme général des cas d'utilisation de la cafetière

Le diagramme de cas d'utilisation est un schéma qui montre les cas d'utilisation (représenté par des ovales) 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 de l'utilisateur, on distingue 3 cas d'utilisation :

- Préparer le café.
- Chauffer l'eau.
- Doser l'eau et mettre en pression.
- Choisir la quantité de café.

Il est possible sur ce diagramme (figure 1.8) de préciser aussi la nature des liens entre les différents cas d'utilisation :

- un lien de type « include » entre « Préparer le café » et « Chauffer l'eau » et entre « Préparer le café » et « Doser l'eau et mettre en pression », ces deux services sont nécessaires pour obtenir un café expresso ;
- un lien de type « extend » entre « Préparer le café » et « Choisir la quantité de café » le choix de la quantité de café, une tasse courte ou longue n'est pas une option nécessaire à la réalisation d'un expresso.

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

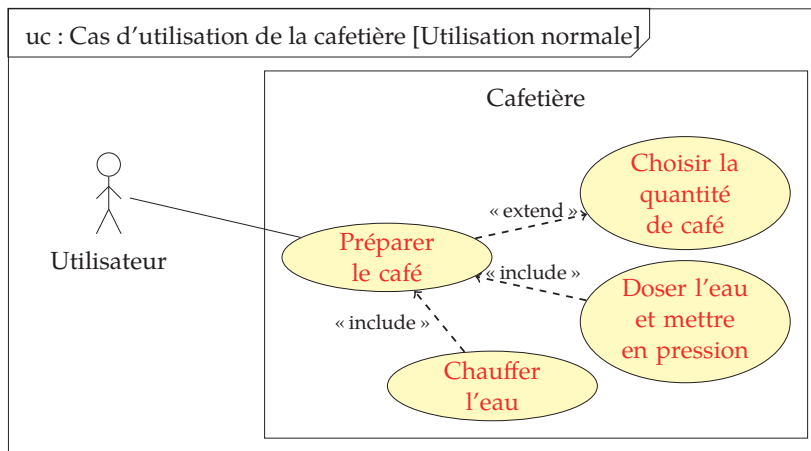


FIGURE 1.8 – Cas d'utilisation de la cafetière et liens

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 générales du système.

L'exigence principale de la cafetière est bien sûr la **Préparation du café**. Le système doit pour cela :

- d'assurer un **Chauffage** suffisant de l'eau,
- de mettre en **Pression** l'eau,
- et permettre un **Dosage** en fonction du choix de l'utilisateur (court ou long).

Une dernière exigence, plus ergonomique que fonctionnelle peut être ajoutée :

- faciliter le transport et l'**Utilisation**.

On retrouve sur le diagramme les exigences principales de la cafetière, elles sont toutes les trois liées à l'exigence principale par un lien de contenance, en effet, ces trois exigences sont nécessaires pour réaliser un expresso. Par contre, la dernière exigence participe à l'amélioration de l'utilisation mais n'est pas nécessaire à la réalisation du café, cette exigence est précisée par un lien de dérivation d'exigence.

Cette analyse peut encore être affinée. Sur le diagramme d'exigences suivant (figure 1.10), un nouveau niveau d'exigence a été ajouté sous l'exigence **Utilisation** qui apporte des précisions sur les notions d'autonomie et d'utilisation.

Sur la figure 1.10 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 **Chauffage**, 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 ».