

SEQUENCE I

## Analyser et décrire un système

Objectifs :

- ✓ Identifier le besoin et les exigences,
- ✓ S'approprier quelques outils de représentation,
- ✓ Décrire une activité à travers sa chaîne fonctionnelle

Seq. 1 - Chap. 1

# Chapitre 1

## Cours

# Décrire un système en SysML

Prérequis

- ✓ Aucun

Objectifs

- ✓ Reconnaître un système pluritechnologique
- ✓ Donner leur fonction et leur structure
- ✓ Maîtriser les graphiques élémentaires du langage SysML

Savoir-faire associés

A.I.1 / A.I.2 / A.II.1 / A.II.2 / A.III.a / Co.I.(a, b, c, d et e) / Co.I.2 / Co.II.1.a

### PLAN DU CHAPITRE

I. Les systèmes pluritechnologiques.....	2
A. Définition d'un système.....	2
B. Cycles de vie.....	5
C. Outils de modélisation.....	6
II. Le langage SysML .....	7
A. Description fonctionnelle.....	7
1. Diagramme des cas d'utilisation.....	7
2. Diagramme de contexte.....	8
3. Diagramme d'exigence.....	9
B. Description structurelle.....	11
1. Diagramme de définition des blocs.....	11
2. Diagramme des blocs internes.....	13



*Exemples de systèmes pluritechnologiques étudiés dans des sujets de concours*

« Le métier de base de l'**ingénieur** consiste à **résoudre des problèmes** de nature **technologique**, concrets et souvent complexes, liés à la **conception**, à la réalisation et à la mise en œuvre de produits, de **systèmes** ou de services. Cette aptitude résulte d'un ensemble de **connaissances techniques** d'une part, économiques, sociales et humaines d'autre part, reposant sur **une solide culture scientifique**. »

*Définition du métier d'ingénieur proposée par la Commission des Titres d'Ingénieur.*

Les activités de l'ingénieur sont donc centrées autour de l'étude des systèmes, de leur conception à leur recyclage. Ce chapitre cherchera à présenter l'ensemble des systèmes, à l'aide d'un vocabulaire spécifique, d'outils et de moyens de communication.

## I. Les systèmes pluritechnologiques

Qualifier un système de complexe signifie qu'une multitude de paramètres doivent être pris en compte lors de la définition du projet industriel. Il n'existe ainsi non pas une unique mais une infinité de solutions potentielles. Le choix de la solution adoptée est le résultat d'un compromis nécessaire entre des intérêts rarement convergents. Le programme de PCSI se concentre sur deux de ces contraintes :

- La **mécanique** : est la science des mouvements et déformation ;
- L'**automatique** : est la science de la commande et du contrôle.

Dans la suite de cette partie, les systèmes, et leur cycle de vie, seront définis à l'aide d'un vocabulaire spécifique. Enfin, quelques outils de modélisation des systèmes seront présentés.

### A. Définition d'un système

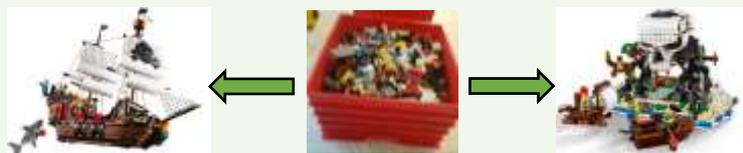
Un système peut à la fois être qualifié de solaire, sanguin, technique ou d'équations en fonction de son domaine d'application. Dans tous les cas, le terme fait référence à un objet complexe, logique et ordonné. A l'image de son étymologie (du grec *syntagma* signifiant un assemblage ou une combinaison), la norme ISO/IEC 15288 :2002 propose la définition suivante.

**Définition 1 – Système** : Un système est un **arrangement d'éléments en interaction**, organisés en vue de répondre à un besoin des Hommes

Plusieurs interprétations découlent de cette définition :

- Un système est un ensemble ;
- Cet ensemble peut être décrit à partir d'éléments ;
- Les éléments de cet ensemble sont en relation ;
- Un système est une finalité exprimée.

**Exemple 1** : A partir des mêmes éléments d'un jeu de construction, on peut construire plusieurs systèmes répondant à des besoins différents.



Afin de faciliter l'étude d'un système complexe, ce dernier pourra être décomposé en sous-systèmes plus simples. Ces derniers pourront, à leur tour, être considérés comme un système composé d'autres sous-systèmes. Cette décomposition pourra être faite jusqu'aux composants élémentaires.

**Exemple 2 :** Considérons un avion de ligne. De nombreux sous-systèmes le composent et sont en relation les uns par rapport aux autres : les réacteurs, le fuselage, les ailes, l'empennage, les circuits électroniques, hydraulique et pneumatiques, les trains d'atterrissage...

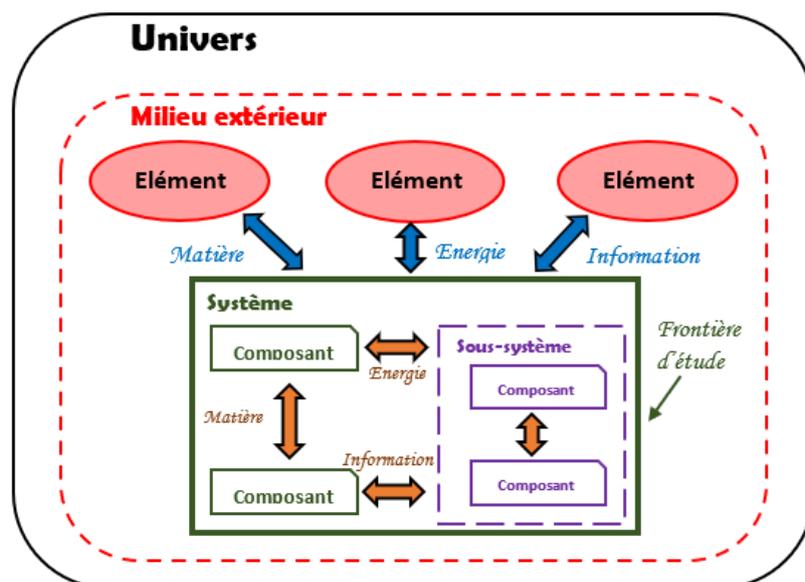


Au sein de l'univers, un système sera uniquement en relation avec une partie d'entre lui, que l'on appellera **milieu extérieur**. Si ce dernier se restreint au laboratoire, pour une utilisation dans un cadre pédagogique, le système sera qualifié d'étude, sinon il sera qualifié d'industriel. N'étant pas isolé de l'extérieur, le système interagira avec ce dernier. Il devra donc **s'adapter à ses contraintes** et pourra **échanger avec lui**. Avant toute analyse, il conviendra alors d'identifier le système et de le délimiter à l'aide d'une **frontière d'étude**. Le milieu extérieur sera alors défini par l'ensemble de l'univers n'appartenant pas au système mais échangeant avec lui.

**Définition 2 – Frontière d'étude :** C'est une **limite réelle ou fictive** qui permet de **définir le système étudié**. Elle permet de distinguer ses constituants ou sous-systèmes internes de l'environnement extérieur.

La figure ci-dessous présentent l'imbrication de ces différents éléments. **Les échanges** entre les éléments du milieu extérieur ou/et du système, sont appelés **flux** et sont généralement classés dans trois grandes familles :

- **Matière ;**
- **Energie ;**
- **Information.**



**Figure 1 :** Imbrication du système dans l'univers

**Exemple 3 :** Considérons un avion de ligne.

- **Système :** un avion de ligne
  - Sous-systèmes : train d'atterrissage, réacteur, ...
  - Composants : longerons, panneau composite, vis, écrou, carburant...
  - Echange – Energie : entre le réacteur et les systèmes embarqués
  - Echange – Matière : entre le carburant et les réacteurs
  - Echange – Information : entre le radar et le cockpit
- **Milieu extérieur :** l'atmosphère, la tour de contrôle, ...
  - Echange – Energie : entre l'atmosphère et le fuselage (frottements)
  - Echange – Matière : entre l'air et le réacteur
  - Echange – Information : entre le pilote et les contrôleurs

**Entraînement 1 :** A partir de l'article de presse suivant :

1. Identifier le système répondant au besoin suivant :  
« Permettre au client de se déplacer ».
2. Donner deux de ses composants et deux de ses sous-ensembles.
3. Identifier la nature des échanges entre ces éléments.
4. Décrivez le milieu extérieur en termes d'éléments et d'échange.

« Ça va bouleverser - sinon révolutionner - les moyens de transport terrestre de passagers... » Voici ce que les lecteurs de Science & Vie ont pu lire dans nos pages en... 1968. À l'époque, un concept de train incroyable, l'Aérotrain, était censé battre des records de vitesse en filant sur un coussin d'air à plus de 300 km/h.

Jean Bertin, inventeur génial, avait eu l'idée de fabriquer un train sans roue, propulsé sur un rail par une hélice. Il avait finalement réussi à faire rouler plusieurs prototypes sur une structure installée dans la Beauce. Il parvint même, en 1974, à battre le record du monde de vitesse ferroviaire en propulsant l'un de ces engins à 430,2 km/h. Un véritable exploit !

Et voilà que l'histoire se répète. Un descendant direct de l'Aérotrain, baptisé Spacetrain, reprend le même principe technique, avec des perspectives encore plus ambitieuses : filer à plus de 500 km/h, relier Paris à Orléans en 13 minutes au lieu de 1 h 10, ou Paris-Le Havre en 30 minutes au lieu de plus de 2 heures. »

Par Muriel Valin, 06/2020, Spacetrain : le grand retour de l'aérotrain dans *Science et vie*.



Navette

En nanotubes de carbone, très résistants et légers à la fois.

Pompe pour coussins d'air

Récupère l'air extérieur et le compresse pour créer des coussins d'air verticaux et horizontaux surélevant la navette de 2 mm.

Capacité d'accueil

60, 150 ou 250 personnes, ou 20 à 30 containers de marchandises suivant les navettes.

Sources d'énergie électrique

Pile à combustible et batterie lithium/ion assistée par des super-condensateurs.

Réservoirs d'hydrogène

100 kg transportés à 700 bars pour 600 km d'autonomie.

Freinage d'urgence

En graphène-carbone, qui enserre la partie verticale du rail.

Moteur linéaire à induction

Crée un champ magnétique au contact d'une plaque sur le rail central qui génère une poussée.

## B. Cycles de vie

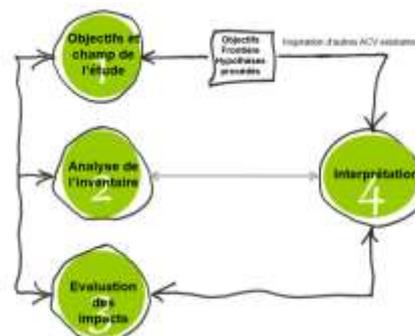
Le **cycle de vie** recense les différentes étapes de la vie d'un système, de l'**identification du besoin** à l'origine de sa **conception** jusqu'au **recyclage** de ses constituants lorsqu'il n'est plus utilisé. En PCSI, seule une partie du cycle de vie en V est abordée (définition des exigences, conception et validation fonctionnelle). La démarche de l'ingénieur s'appuie sur l'analyse de performances (**souhaitées, simulées et mesurées**) et des écarts entre ces performances.



*Figure 2 : Diagramme en V du cycle de vie*

L'**analyse du cycle de vie (ACV)** est un outil, une **méthodologie** définie par les normes ISO 14040 et ISO14044 qui permet **d'identifier les enjeux environnementaux et de développer des produits éco-conçus**. Comme évoqué précédemment, tout système échange avec son milieu extérieur des flux de matières, d'énergie et d'information. L'analyse du cycle de vie permet de **réaliser un bilan** des entrants et sortants d'un système, afin de les convertir en **impacts environnementaux**. Il est constitué de 4 étapes :

- **Définition des objectifs et du champ de l'étude** : On cadre l'étude analytique du cycle de vie. On en détermine les objectifs, le périmètre de l'analyse, les données requises, les contraintes et le public visé ;
- **Inventaire du cycle de vie** : On inventorie les entrants et les sortants du système à chaque étape du cycle de vie. On définit le périmètre de l'étude, les règles de coupures et les différentes méthodes de collecte ;
- **Evaluation des impacts** : On traduit les flux en impacts environnementaux. On obtient alors un résultat brut ;
- **Interprétation des résultats** : On interprète les impacts environnementaux aux regards des exigences et des objectifs. Il est parfois nécessaire de réaliser des études de sensibilité pour affiner l'interprétation.



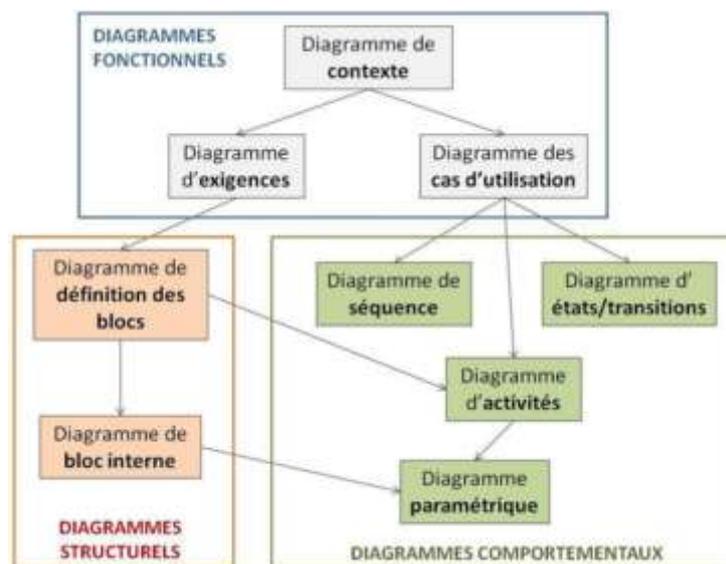
*Figure 3 : les différentes étapes de l'analyse du cycle de vie.*

## C. Outils de modélisation

Les consommateurs étant de plus en plus demandeur de **solutions performantes et robustes**, les systèmes proposés par les industriels sont donc de plus en plus **complexe**. Par conséquent, de nombreux ingénieurs doivent **collaborer** pour concevoir ces systèmes. Afin de faciliter ce travail collaboratif, des normes ont été proposées afin d'**uniformiser** les moyens de communication, les méthodes et les documentations. Nous avons précédemment vu un outil permettant d'évaluer l'impact environnemental d'un système tout au long de son cycle de vie : l'analyse du cycle de vie. Il en existe de nombreux autres applicables en fonction du domaine d'expertise (maquette numérique, logiciels de simulation multi-physique...).

Il existe toutefois d'autres outils permettant de **regrouper dans un modèle commun** à tous les corps de métiers les spécifications et les paramètres de l'ensemble du système. Ceci permet d'éviter tout problème de communication qui engendrerait du retard dans l'élaboration du système. En CPGE, l'outil retenu est le **SysML** (Systems Modelling Language). Il s'agit d'un langage de communication permettant de **décrire** tout ou partie **d'un système**, d'un point de vue **fonctionnel, comportemental ou structurel**. Le programme de PCSI précise que vous devez être capable de lire et comprendre la plupart de ces diagrammes. Il n'est pas nécessaire de connaître toutes les subtilités d'écriture. Le langage SysML a été élaboré par un organisme à l'origine du langage UML utilisé en informatique. Il s'articule autour de neuf types de **diagrammes** :

- **Les diagrammes fonctionnels :**
  - Diagramme de contexte
  - Diagramme des cas d'utilisation - **uc**
  - Diagramme des exigences - **req**
- **Les diagrammes structurels :**
  - Diagramme de définition de blocs - **bdd**
  - Diagramme de blocs internes - **ibd**
- **Les diagrammes comportementaux :**
  - Diagramme paramétrique – **par**
  - Diagramme d'activité – **act**
  - Diagramme d'état – **stm**
  - Diagramme de séquence - **sq**



**Figure 4 :** les différents diagrammes du langage SysML

## II. Le langage Sys ML

Dans ce chapitre, uniquement les diagrammes de contexte, d'exigences, des cas d'utilisation, de définition de blocs et de blocs internes seront décrits.

### A. Description fonctionnelle

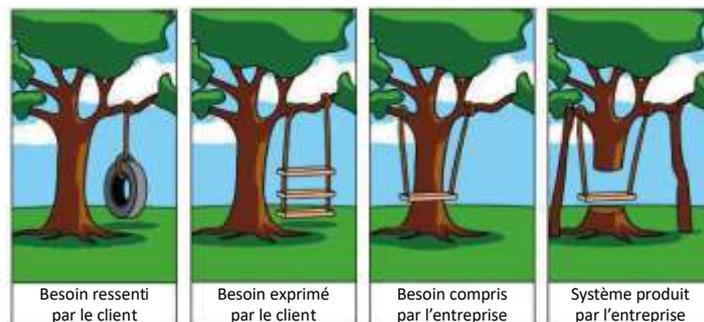
L'analyse fonctionnelle permet de décrire le **besoin** auquel répond un **système** et de définir les **contraintes**, imposées par le milieu extérieur, auquel il doit **s'adapter**. Dans l'**ingénierie système**, c'est une étape indispensable pour s'assurer que le système à concevoir répondra au mieux aux **besoins** de ses **utilisateurs**.

#### 1. Diagramme des cas d'utilisation

Pour **concevoir** un produit, une entreprise doit **échanger** avec son client afin d'en identifier son **besoin**. Elle pourra alors lui proposer un système dont les **fonctions** répondront à ces exigences. Cependant, il est possible que les interprétations du besoin par le client et par l'entreprise soient différents. Il est ainsi nécessaire de **formaliser** à la fois le **besoin** décrit par le client et la **fonction** que devra assurer le système afin de faire converger les intérêts de chacun. Pour ce faire, il faut dans un premier temps définir les notions de **besoin** et de **fonction globale**, à travers la norme NF X50 – 150. Dans un second temps, il faut les **caractériser** en les **qualifiant** et les **quantifiant**.

**Définition 3 – Besoin :** Un **besoin** est une nécessité, un désir éprouvé par un utilisateur

**Définition 4 – Fonction globale :** La **fonction globale** d'un système est la « raison d'être » du système, du point de vue de l'utilisateur. Elle répond à la question « **Quels services rend le système aux différents acteurs** ».



**Figure 5 :** les besoins ressentis par le client et compris par l'entreprise peuvent être différents...

**Exemple 4 :** Quel est la fonction globale d'un aspirateur : aspirer, nettoyer ou dépoussiérer ?

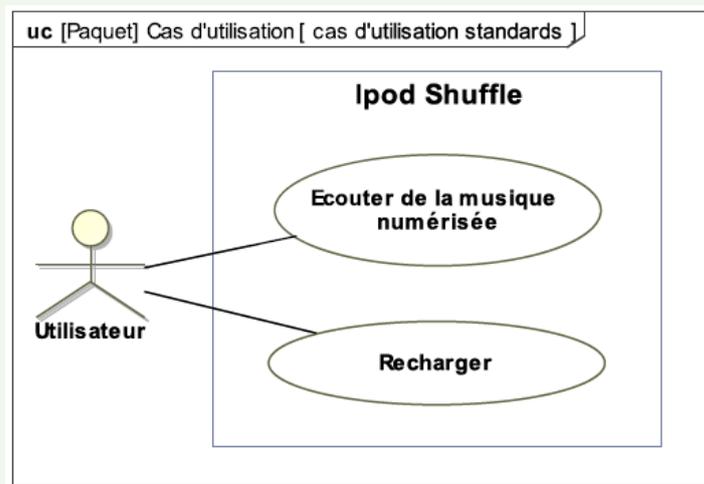
- Aspirer ne convient pas car la solution technologique est déjà pressentie. On pourrait imaginer une autre solution permettant d'obtenir le même résultat.
- Nettoyer ne convient pas car un aspirateur n'a pas pour fonction d'enlever des tâches par exemple.

- Dépoussiérer cette réponse est meilleure car elle cerne bien le besoin utilisateur sans induire de solution technologique particulière.

Décrire le **comportement** que doit avoir le système à concevoir pour satisfaire le **besoin identifié** consiste à définir les **cas d'utilisation** (ou **fonctions globales**) qu'il doit remplir. Il s'agit d'explicitier ce que le **système doit faire** et non comment il doit le faire. Un outil adapté est le **diagramme des cas d'utilisation**, (*uc* en anglais pour *use case*), dans lequel on représente la **frontière du système** (rectangle) qui contient les **cas d'utilisation** (verbe à l'infinitif suivi d'un complément, dans un ovale). Chacun d'entre eux est relié à l'**acteur principal** (bonhomme, petit rectangle ou cube) situé à l'extérieur du système à gauche. Si un acteur secondaire était nécessaire, il apparaîtrait à droite du système et serait également relié au cas d'utilisation. Le comportement correspondant à chaque phase de vie peut être décrit par un diagramme des cas d'utilisation différent. Les acteurs sont à l'extérieur du système et font donc partie de son environnement.

**Définition 5 - Diagramme des cas d'utilisation :** Il présente les différentes **fonctionnalités** proposées par le système. Ces fonctionnalités peuvent varier selon la phase de vie considérée (utilisation normale du produit, maintenance, recyclage...). Il définit aussi les différents types d'utilisateurs, nommés acteurs, et les services attendus par chacun d'eux.

**Exemple 5 :** Quel est le diagramme des cas d'utilisation d'un Ipod Shuffle ?



**Entraînement 2 :** A partir de l'article de presse de l'Entraînement 1, donner le diagramme des cas d'utilisation du Spacetrain. (on se limitera à deux cas d'utilisation)

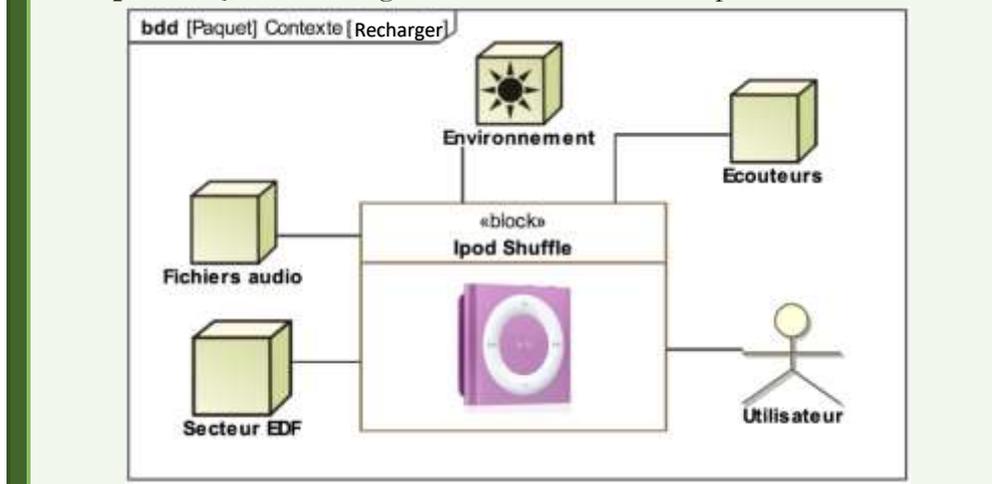
## 2. Diagramme de contexte

Un système est toujours en interaction avec son environnement. L'étude d'un système ne se limite donc pas à l'étude de ses composants et des interactions entre eux mais aussi à l'étude des relations avec les éléments du milieu extérieur. Ces derniers définissent alors les limites (frontière) du système. Le diagramme de contexte SysML 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 (généralement la phase d'utilisation). Un outil adapté est le **diagramme de contexte**, **labélisé par `bdd [#système#]`** **context** **`[#Phase d'utilisation#]`**, dans lequel on représente la **frontière du système** (rectangle). Il est relié aux **acteurs** (bonhomme, petit rectangle ou cube) situé à l'extérieur du système à gauche.

Si un acteur secondaire était nécessaire, il apparaîtrait à droite du système et serait également relié au cas d'utilisation.

**Définition 6 - Diagramme de contexte :** Il 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 ? »

**Exemple 6 :** Quel est le diagramme de contexte d'un Ipod Shuffle ?



**Entrainement 3 :** A partir de l'article de presse de l'Entrainement 1, donner le diagramme de contexte du Spacetrain.

### 3. Diagramme d'exigence

D'un point de vue plus général, un **système industriel** est vu comme un **générateur de prestations**, c'est-à-dire qu'il est conçu pour **satisfaire les besoins de l'utilisateur**. De nombreux systèmes ou produits permettent de répondre à un même besoin, mais n'ont pas les mêmes **capacités ou contraintes**. Ces dernières seront par la suite appelées **exigences**.

**Exemple 7 :** Plusieurs solutions technologiques répondent aux besoins « Parcourir une grande distance rapidement ». Il faut alors préciser d'autres exigences afin de choisir la solution finale (rayon d'action, nombre de passagers, carburant, consommation, prix du kilomètre, prix d'achat).

Ces **exigences** sont ensuite traduites par les ingénieurs en définissant des **niveaux de performances, des conditions de fiabilité**, de traçabilité... Les exigences servent donc à établir le **contrat entre le client et les concepteurs du système**. Le **diagramme des exigences** (*req* en anglais pour *requirement*), **spécifie, hiérarchise et documente** l'ensemble des exigences qui doivent être satisfaites par le système. Une exigence est caractérisée par un **critère** (grandeur physique mesurable), un **niveau** (valeur chiffrée) et une **flexibilité** (l'écart acceptable sur le niveau attendu). Dans un premier temps, pour simplifier la lecture des diagrammes, on ne considère que deux types de liaisons entre les blocs (d'autres types de relations seront présentées dans l'année) :

- L'exigence est incluse dans une autre exigence (contenance) ;
- L'exigence dépend d'une autre exigence (dépendance).

**Définition 7 - Diagramme des exigences :** Il regroupe des **exigences liées aux besoins** de l'utilisateur ou aux contraintes des éléments du milieu extérieur.

**Entraînement 4 :** A partir des informations ci-dessous donner le critère, le niveau et la flexibilité pour un automobiliste circulant sur une route nationale et ne voulant pas être flashé dans des conditions normales de circulation.

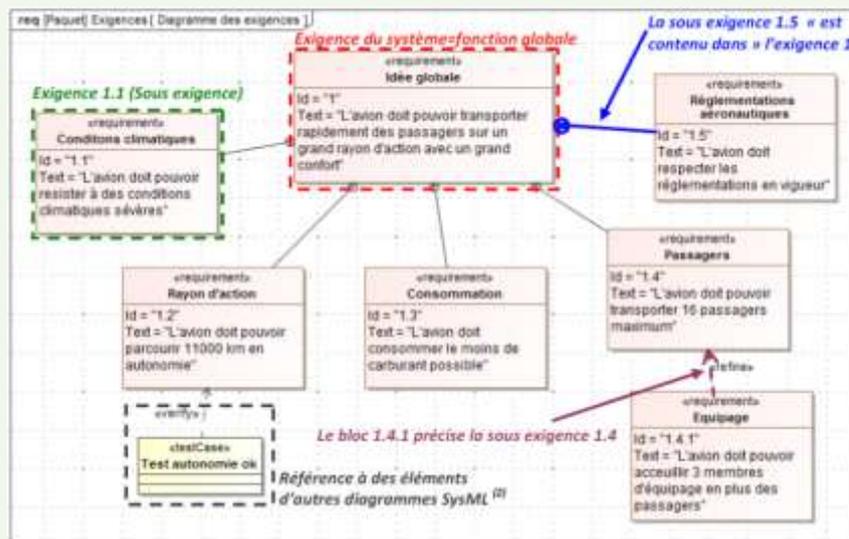
« Ces radars sont conçus pour cibler les conducteurs responsables d'excès de vitesse importants : la marge technique de ces radars est de 10 km/h pour des vitesses inférieures à 100 km/h et de 10% pour les limitations de vitesse supérieures à 100 km/h (contre 5 km/h et 5% pour les autres radars vitesse). »

**Quelles sont les limitations de vitesse pour les voitures ?**

Autoroute	130km/h
Voie rapide	110 km/h
Nationale	80 km/h
Agglomération	50 km/h

D'après [www.securite-routiere.gouv.fr](http://www.securite-routiere.gouv.fr)

**Exemple 8 :** Quel est le diagramme des exigences d'un Dassault Falcon 7X ?



**Entraînement 5 :** A partir de l'article de presse de l'Entraînement 1, donner le diagramme des exigences du Spacetrain.

Afin de présenter plus lisiblement les critères et niveaux associés à chaque exigence, il est possible de les détailler dans un **tableau des exigences**.

**Exemple 9 :** Quel est le tableau des exigences du Falcon 7X ?

Id.	Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
1.3	L'avion doit consommer le moins de carburant possible	Consommation moy.	30% de moins que le Falcon 2000	28% max
1.4	L'avion doit transporter 16 passagers maximum	Masse maximale totale embarquée	2400 kg	-5%
1.5	L'avion doit respecter les réglementations en vigueur	Norme aéronautique DO-1788	Respect total	Aucune

Un diagramme des exigences doit être établi pour chacun des modes et chacune des phases d'utilisation du système. Il est préférable de réaliser plusieurs diagrammes si nécessaire pour ne pas alourdir la présentation : par exemple, un diagramme pour les exigences techniques, économiques, environnementales, design ...

**Définition 8 - Cahier des Charges Fonctionnelles, CdCF :** Il regroupe l'ensemble des exigences qui doivent être satisfaites par le système et leurs caractéristiques (critère et niveau).

En entreprise, le cahier des charges sert aux échanges entre les acteurs d'un projet et permet de capitaliser leurs savoirs et savoir-faire. C'est un document clé de l'expertise industrielle. En CPGE, ce sont les données issues de ce cahier des charges qui vont nous permettre de quantifier les écarts entre les performances attendues d'un système et :

- ses performances réelles ;
- ses performances anticipées grâce à une simulation.

## B. Description structurelle

L'analyse structurelle permet de définir les **constituants internes** au système (de quoi est-il constitué ?) et comment ceux-ci **interagissent**. Elle consiste à :

- définir les **constituants** du système étudié, sous forme hiérarchique (diagramme de définition de blocs)
- définir les **échanges** entre ces constituants (diagramme des blocs internes).

### 1. Diagramme de définition des blocs

Le **diagramme de définition de blocs** (*bdd* en anglais pour *Block Definition Diagram*) décrit la structure d'un système en le décomposant. Un **bloc** représente un **sous-système** ou un **composant élémentaire**, et les liens entre les blocs traduisent la **composition** (flèche continue avec un losange plein à l'extrémité côté système). Chaque bloc n'apparaît **qu'une seule fois**, une éventuelle multiplicité est indiquée avec un chiffre au niveau de l'association entre les blocs.

<b>Définition 9 : Les liens du langage SysML :</b>		
<b>Association</b> (uc – bdd – idb)		X utilise Y
<b>Dépendance</b> (uc – req – bdd)		X dépend de Y
<b>Agrégation</b> (req – bdd)		X entre dans la composition de Y, sans être indispensable
<b>Composition</b> (req – bdd)		X entre dans la composition de Y et est indispensable
<b>Généralisation</b> (req – bdd – ibd)		X est une sorte de Y
<b>Conteneur</b> (req – bdd)		Y contient X

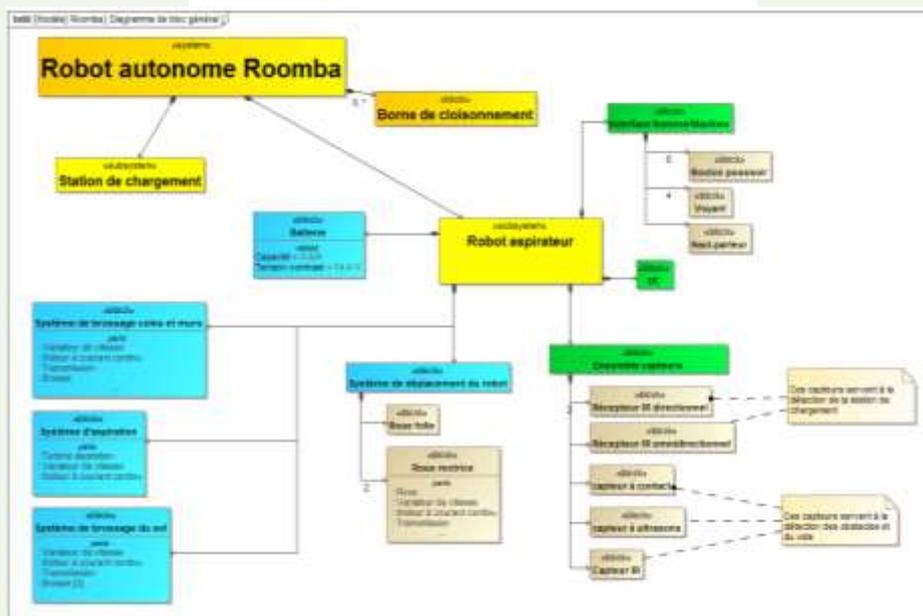
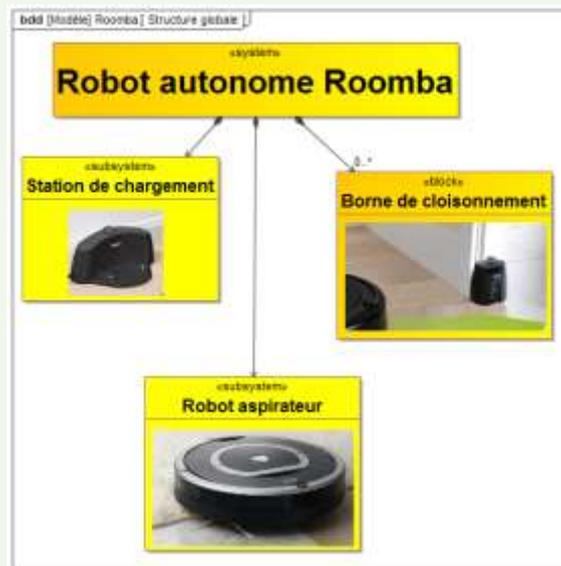
Le diagramme de définition de blocs permet de faire une **analyse structurelle descendante**, en allant de l'ensemble du système vers des sous-systèmes de plus en plus élémentaires. Chaque bloc contient des informations concernant le système ou le composant concerné. On retiendra essentiellement les « *values* », des caractéristiques ou valeurs courantes du système.

**Définition 10 - Le diagramme de définition de blocs :** il permet de réaliser l'inventaire des constituants qui constituent le système en le décomposant en sous-systèmes, puis en constituants élémentaires par une analyse descendante.

**Exemple 10 :** Quel est le diagramme de définition des blocs d'un robot autonome Rumba ?



Le robot autonome Rumba



**Entrainement 6 :** A partir de l'article de presse de l'Entrainement 1, donner le diagramme de définition de blocs du Spacetrain.

## 2. Diagramme des blocs internes

Le **diagramme de blocs interne** (*ibd* en anglais pour *internal block diagram*) décrit les interactions entre différents composants et sous-systèmes, ou les blocs du diagramme de définition des blocs. La structure du système décrite dans le diagramme de définition de blocs se retrouve alors dans le diagramme de blocs internes où les blocs sont dessinés les uns dans les autres.

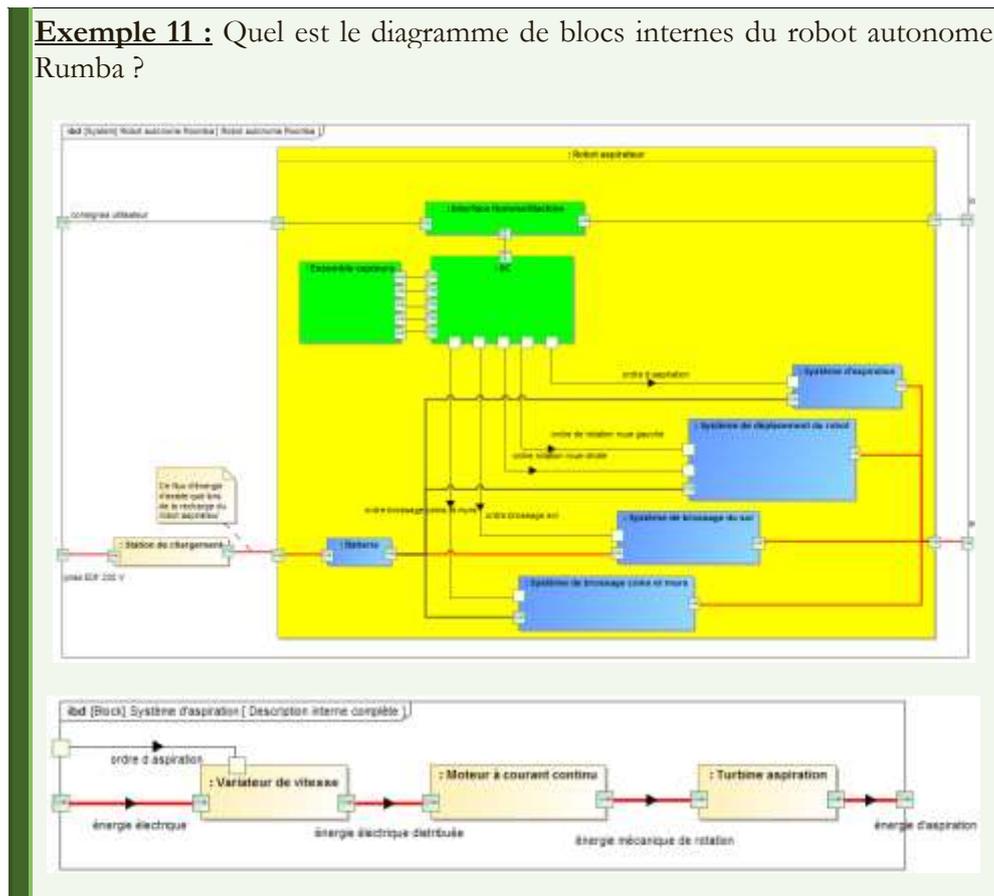
Les associations entre les blocs d'un diagramme de blocs internes se font via des **ports** et correspondent à :

- des **flux de matière**, d'**énergie** ou d'**information**, qui peuvent être **unidirectionnels** ou **bidirectionnels** (→)
- des échanges de services, des informations logiques (□)

**Définition 11 - Diagramme de blocs internes :** il permet d'identifier les échanges de matière, d'énergie et d'information (MEI) entre les constituants.

Avec ce type de diagramme, et pour les diagrammes de définition de blocs, on peut faire le choix de décrire la structure d'un système avec différents niveaux de raffinement. Dans le cas d'un système complexe, on évite de concentrer toutes les informations sur un seul et même diagramme de blocs internes ce qui le rendrait illisible. On construit alors autant de diagrammes de définition de blocs que l'on souhaite avec des niveaux de précision et de raffinement différents.

**Exemple 11 :** Quel est le diagramme de blocs internes du robot autonome Rumba ?



**Entraînement 7 :** A partir de l'article de presse de l'Entraînement 1, donner le diagramme des blocs internes du Spacetrain.

## Références

- [1] Cours de MPSI du lycée La Fayette, Clermont-Ferrand, 2013 (Pr. Pinault Bigeard)
- [2] Site « <https://www.eco-conception.fr/static/analyse-du-cycle-de-vie-acv.html> »
- [3] SysML : un langage pour la modélisation des systèmes, ENS Cachan, 2013 (Pr. Lionel Gendre)
- [4] Cours de CPGE du pôle Chateaubriand Joliot-Curie, Rennes, 2019
- [5] Cours du lycée Saint-Stanislas, Nantes, 2019 (Pr. Parrilla Gomez)
- [6] Cours du lycée d'Arsonval, Saint-Maur-des-Fossés, 2019 (Pr. Paillet)