

## Des outils de l'analyse fonctionnelle au « SysML »

### « SysML » : Langage de modélisation des systèmes techniques complexes

#### Cas de l'enseignement de la technologie au collège

A. EL Marrakchi Inspecteur des Sciences et Techniques Electriques  
Chargé de mission pédagogique – Technologie Collège –  
Académie régional d'éducation et de formation Marrakech – Safi  
Délégation de Marrakech

Mots clés : Système, Ingénierie système, analyse fonctionnelle, SysML, Diagramme.

Introduction : Un système est un ensemble de composants qui interagissent d'une manière organisée pour accomplir une finalité commune. Son organisation matérielle et ses interactions avec l'environnement lui permettent d'atteindre sa finalité qui justifie sa raison d'être. Le progrès de la Science et de la Technologie contribue de plus en plus à la complexité des systèmes. Cette complexité se traduit par :

- Le nombre important de composants de nature différente ;
- L'intervention de spécialistes de diverses disciplines ;
- La difficulté de prévoir leur comportement par des méthodes réductionnistes.

Le comportement d'un système est le résultat du comportement de chaque composant du système en interaction avec d'autres d'une manière linéaire ou bouclée. Ceci, génère de la complexité qui ne pourra être maîtrisée que par des approches systémiques transdisciplinaires. Le langage SysML se veut un outil de modélisation cohérent pour mieux appréhender les systèmes pluritechnologiques actuels.

#### A. Définition d'un système :

- 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). **Conseil International de l'Ingénierie Systèmes**  
D'une manière générale :

**Un système =  $\Sigma$  Composants +  $\Sigma$  Interactions**

**Remarques :**

1. Un système techniques complexe est un système dont le fonctionnement fait appel à plusieurs disciplines de la physique (Mécanique, Electronique, Thermique...).
2. Dans un système complexe, les relations liant les composants sont multiples, interdépendantes et bouclées. Ainsi, le comportement global n'est pas directement prévisible à partir des comportements élémentaires des composants. D'où, l'intérêt d'une ingénierie système.

#### B. Ingénierie Système :

L'Ingénierie Système (SI) est une approche scientifique interdisciplinaire de formation récente, dont le but est de formaliser et d'appréhender la conception de systèmes complexes avec succès. L'IS intègre tous les intervenants et toutes les méthodes permettant de concevoir et de valider le système vis-à-vis de son cahier des charges fonctionnel.

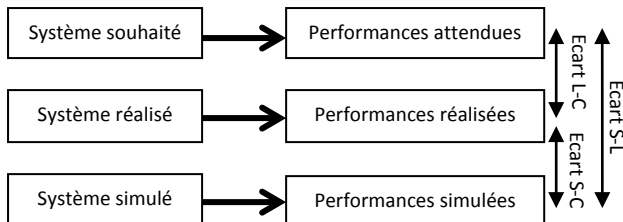
**Remarque :** L'Ingénierie Système s'adresse aux secteurs suivants :

- Systèmes Embarqués ;
- Automobile ;
- Ferroviaire ;
- Aéronautique ;
- Espace ;
- Militaire ;
- Télécoms ;
- Médical ;
- Production d'énergie ;
- etc...

Les méthodes de l'Ingénierie Système (IS) reposent sur des approches de modélisation et de simulation pour valider les exigences ou pour évaluer le système. La modélisation a donc été couramment utilisée pour la décomposition fonctionnelle, les flux de

données, et la décomposition structurelle du système, faisant appel à des techniques telles que les actigrammes et les datagrammes.

**Remarque :** En cours d'industrialisation, l'Ingénierie Système (IS) a pour objectif de minimiser les écarts entre le système souhaité, celui réalisé et celui simulé.



### C. Le langage SysML :

C'est un langage de modélisation des systèmes pluritechnologiques complexes qui permet de décrire tout ou partie d'un système d'un pont de vue fonctionnel, comportemental ou structurel.

Aussi, est-il considéré comme étant un ensemble **d'outils 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.

**Le SysML n'est pas une méthode**, mais un ensemble d'outils graphiques définis par un métalangage qui offrent au concepteur toutes les facilités pour :

- construire un modèle permettant de mieux spécifier un système ;
- simuler le comportement du système afin de valider sa faisabilité avant sa réalisation.
- concevoir, définir et d'analyser la structure et le fonctionnement dynamique d'un système ;
- intégrer les composants physiques de toutes les technologies, les programmes, les données, les énergies, les personnes, les procédures et les flux divers.

Les fonctionnalités du langage SysML sont :

- **La collaboration** : Il facilite la collaboration transdisciplinaire de tous les spécialistes des métiers concernés à travers le partage et l'interprétation facile des informations ;
- **La modélisation** : le système est modélisé à toutes les étapes de son cycle de vie en représentant de manière quasi exhaustive les principaux éléments des modèles suivants :
  - L'expression du besoin et de contraintes ;

- La représentation de l'organisation structurée des composants ;

- La définition précise de chaque composant à partir de ses propriétés structurelles et comportementales ;

- La description du comportement attendu du système au cours des différentes phases d'utilisation.

- **L'intégration** : Il permet d'intégrer et de mettre en relation cohérente différentes composantes techniques dans un même modèle ;

- **La validation** : les solutions sont validées par simulation basée sur des diagrammes paramétriques.

Le SysML peut être mis en œuvre en phase de conception d'un nouveau système pour :

- Elaborer des modèles normatifs qui guident la construction ;
- Elaborer des modèles prédictifs pour valider des solutions en amont de la construction.

Aussi, s'utilise-t-il pour décrire un système existant avec des modèles cognitifs qui permettront d'analyser et comprendre des constructions.

### D. Le SysML au collège :

L'enseignement de la technologie au collège repose principalement sur l'exploitation des systèmes techniques à caractère didactique reflétant une réalité industrielle.

Principalement, les pratiques d'apprentissages se répartissent en deux volets :

- L'exploitation des systèmes techniques existants pour comprendre leurs fonctionnements et découvrir les fonctions techniques élémentaires contribuant à la réalisation de leur fonction d'usage.

- La mise en application des connaissances techniques acquises pour mener une démarche de projet aboutissant à une réalisation des systèmes techniques.

La communication des résultats des réflexions encadrés des élèves est réalisée à partir de l'exploitation des outils de communication technique. Alors, quelles sont les limites d'utilisation du langage SysML en enseignement de la technologie au collège ?

#### D.1 Les constituants du SysML :

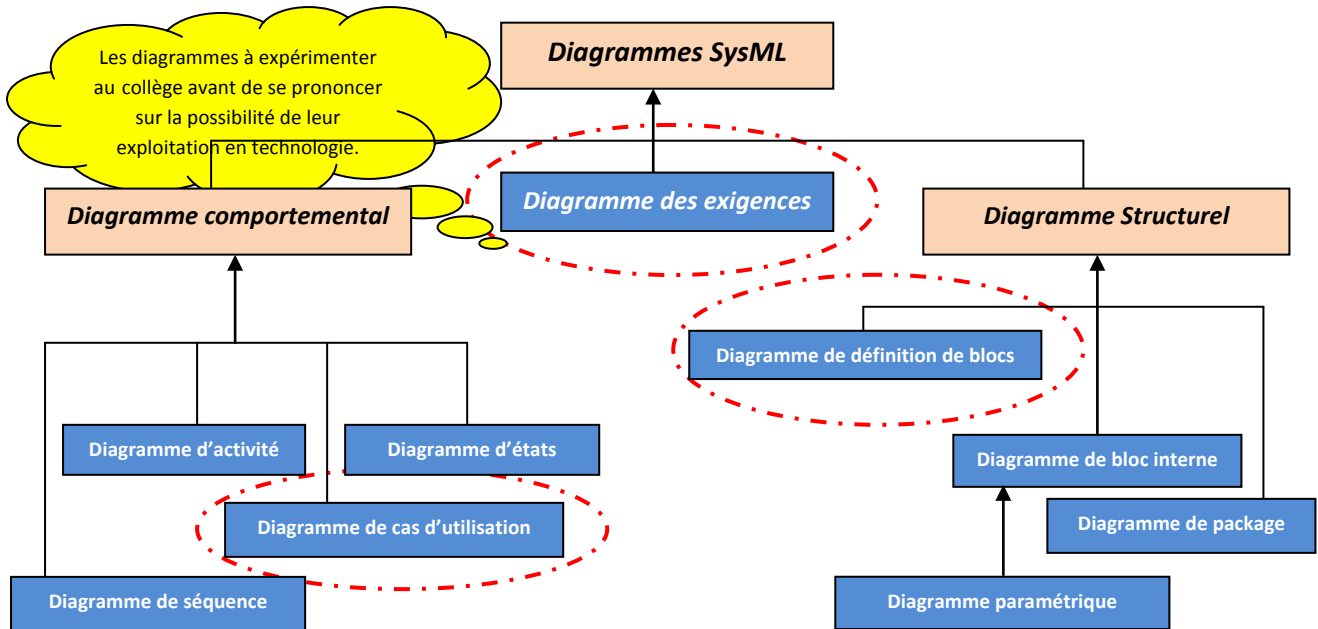
Le langage de modélisation SysML (System Modelling Language) s'appuie sur une description graphique des systèmes en utilisant

un certain nombre de diagrammes et permet de représenter les composants et les flux de toutes natures dont notamment :

- Les constituants du système ;
- Les programmes informatiques ;
- Les flux d'information ;
- Les flux d'énergie.

Le langage SysML permet de décrire de façon abstraite à travers différents points de vue cohérents les systèmes afin d'en permettre la compréhension et l'analyse.

Le langage SysML est composé de neuf diagrammes comme l'indique le schéma bloc suivant :



### D.2 le SysML au collège :

Les activités d'analyse fonctionnelle au collège programmées sont de deux types :

1. Les outils liés aux activités de l'analyse fonctionnelle externe qui sont :

- a. La bête à cornes pour énoncer le besoin à satisfaire pour le système ;
- b. Le diagramme pieuvre pour étudier l'environnement du système.

2. Les outils liés aux activités de l'analyse fonctionnelle interne qui sont :

- a. Le SADT : c'est un outil qui permet de décrire les fonctions d'un système et leurs interactions ainsi que la matière d'œuvre sur laquelle il agit. Il permet de mettre en évidence les parties constitutives du système, leurs finalités, leur fonctionnement et les interfaces qui les lient. Ceci permet une représentation montrant l'organisation structurée que les parties de ce système constituent.

b. Le FAST : C'est un outil de description qui permet de visualiser l'articulation des fonctions partant de la fonction globale ou

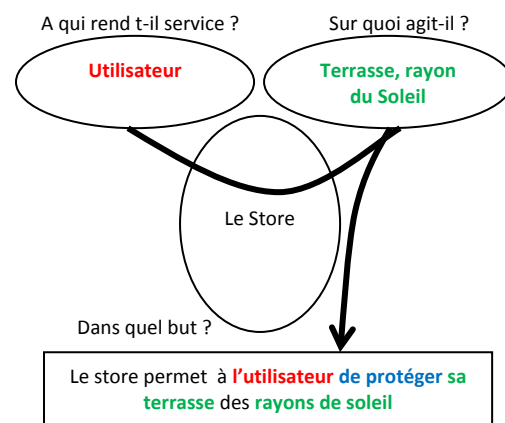
d'une fonction de service (principale ou de contrainte).

c. Chaînes de fonctions : La représentation chaîne d'information et chaîne d'énergie

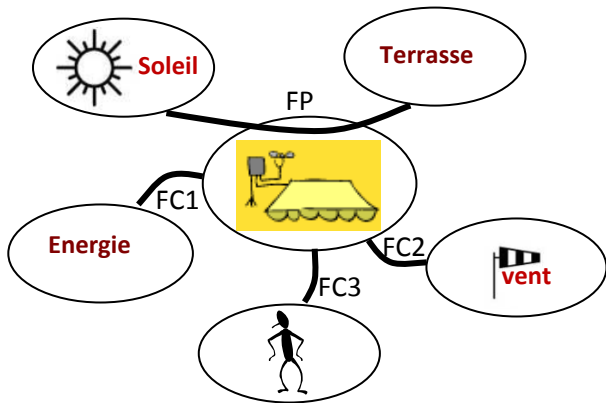
Avant de présenter les diagrammes du SysML qui peuvent être exploités au collège, nous allons appliquer les outils de l'analyse fonctionnelle au store automatisé et essayer de retrouver les résultats de cette analyse sur les diagrammes SysML.

#### D.2.1 Enoncé le besoin (bête à cornes) :

##### Système : Le Store automatisé



### D.2.2 Etude de l'environnement (Pieuvre) :



**FP** : Le store permet à l'utilisateur de protéger sa terrasse des rayons de soleil ;

**FC1** : Le store doit s'adapter à une source d'énergie ;

Caractérisation des fonctions :

Fonction	Critère d'appréciation	Niveau	Flexibilité
FP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Délais de fonctionnement : A. Temps de descente ; B. Temps de monté.</li> </ul>	60 secondes 90 secondes	± 2 secondes ± 2 secondes
FC1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tension d'alimentation ;</li> <li>Puissance.</li> </ul>	220 V ** W	± ** W
FC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temps de réaction du store ;</li> <li>Seuil de vitesse du vent.</li> </ul>	5 secondes ** Km/h	± 2 secondes ± ** Km/h
FC3	Position de réglage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manuel</li> <li>Automatique.</li> </ul>	

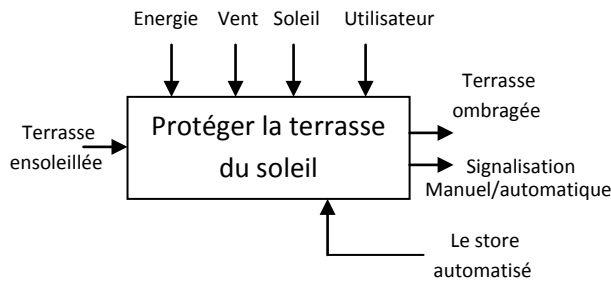
**FC2** : Le store doit être protégé contre le vent fort ;

**FC3** : Le store doit être facilement configurable par l'utilisateur (Manuel/Automatique).

**Remarque** : La liste formant le milieu extérieur n'est pas exhaustive. D'autres éléments peuvent s'ajouter selon les contraintes, technologiques, économiques, physiques, humaines, et les attentes du demandeur du produit en général (Exemple : la pluie, normes de sécurité ...).

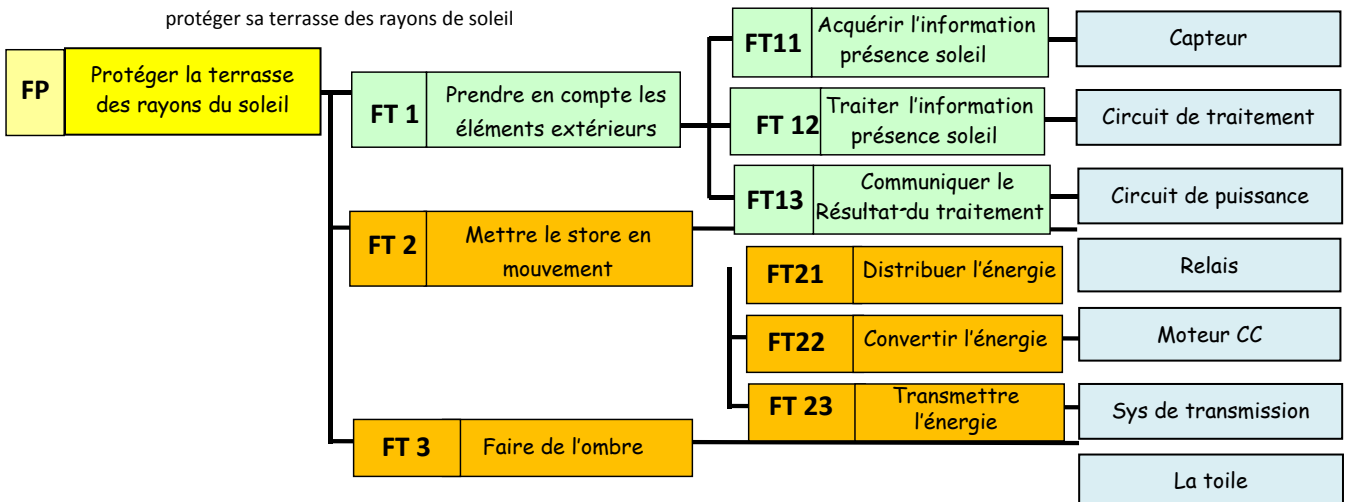
Les fonctions FP, FC1, FC2 et FC3 doivent être caractérisées. Le principe est de définir pour chaque fonction des critères d'appréciation, leurs niveaux et la flexibilité associés à chaque niveau.

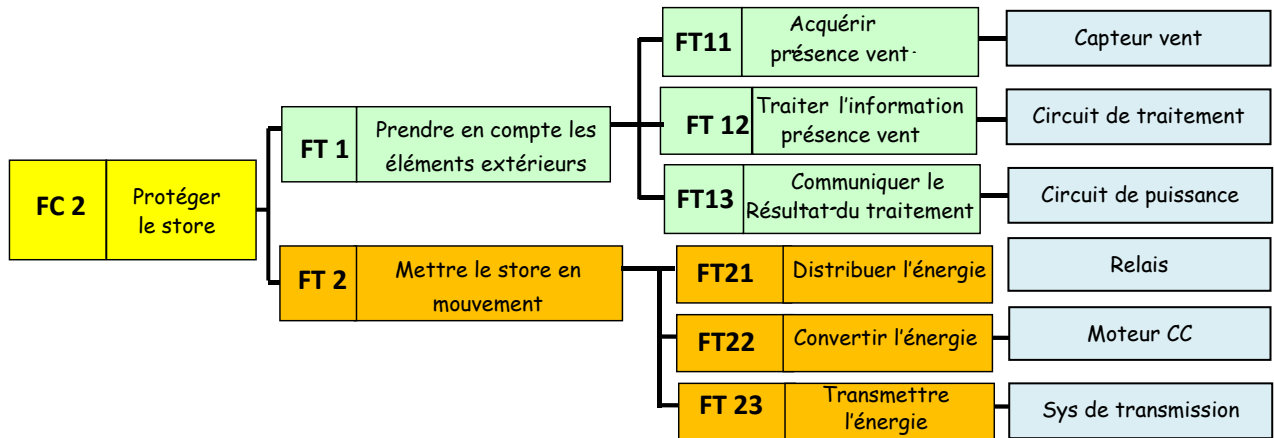
### D.2.3 Diagramme SADT :



### D2.4 Diagramme FAST

**FP** : Le store permet à l'utilisateur de protéger sa terrasse des rayons de soleil





### D.2.5 Diagramme des cas d'utilisation

(Use Case Diagram : notation SysML : UC)

#### a. Rôle du diagramme des cas d'utilisation

Il visualise les interactions fonctionnelles des acteurs et du système étudié. Aussi, délimite-il précisément le système, décrit ce qu'il fera sans s'intéresser au comment ni à l'intervention de l'opérateur. Il exprime donc les services offerts par le système aux utilisateurs.

#### b. Représentation graphique du diagramme des cas d'utilisation (UC)

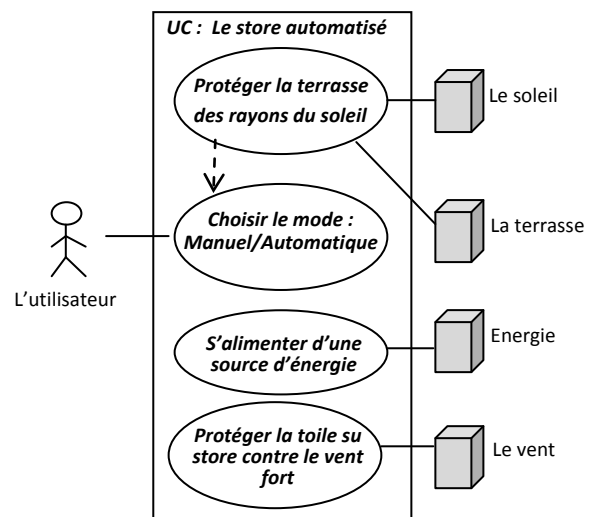
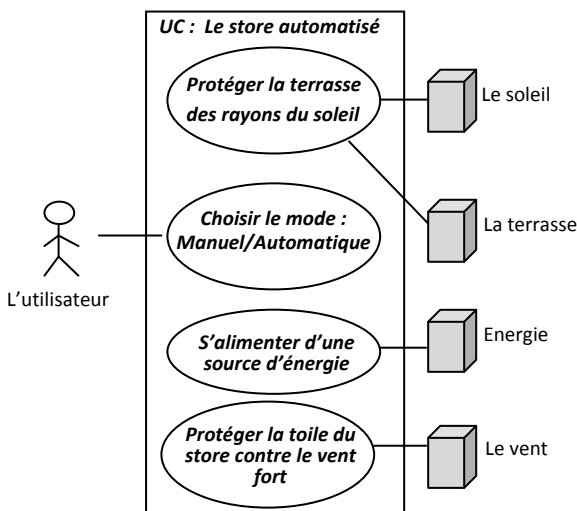
- On trace un cadre délimitant le système et contenant un ensemble de séquences d'actions (elles peuvent être liées entre elles) ;
- A gauche, on place les acteurs humains et à droite les acteurs non humains (un acteur non humain est représenté par un rectangle) ;
- On décrit les actions réalisables par le système (les services rendus par le système aux acteurs, sous forme de verbe à l'infinitif plus compléments) ;
- Les acteurs peuvent être liés entre eux soit par une flèche bidirectionnelle (chaque acteur agit sur l'autre) soit par une flèche unidirectionnelle (un acteur agit sur l'autre).

#### Remarques :

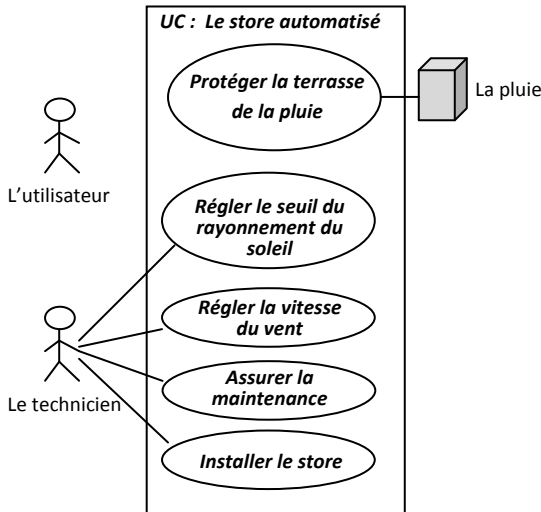
- Pour protéger sa terrasse, L'utilisateur a le choix d'enrouler ou de dérouler la toile du store de deux façons :

- Manuel ;
- Automatique.

Il existe donc une relation interactive entre le mode de commande du store et la service rendu par le store (protéger la terrasse des rayons du soleil). D'une autre manière, on peut dire que le cas d'utilisation de base peut se faire éventuellement d'une manière manuelle. Dans ce cas, l'interaction est représentée par une flèche on pointillée.



- D'autres cas d'utilisation peuvent être représentés par un diagramme de cas d'utilisation. Ceci, est du à l'existence d'autres acteurs matériel ou immatériels. Dans ce cas, on peut envisager le technicien qui assure l'installation et la maintenance en cas de dysfonctionnement. Aussi, peut-on envisager la protection de la terrasse de la pluie.



**D.2.6 Le diagramme des exigences**  
**Requirement Diagram. Notation SysML : REQ**  
**a. Rôle du diagramme d'exigences :**

Il décrit les exigences du cahier des charges fonctionnel. Une exigence exprime une capacité ou une contrainte à satisfaire par un système. Elle peut exprimer une fonction que devra réaliser le système ou une condition de performance technique, physique, de sécurité, de fiabilité, d'ergonomie, d'esthétique ...

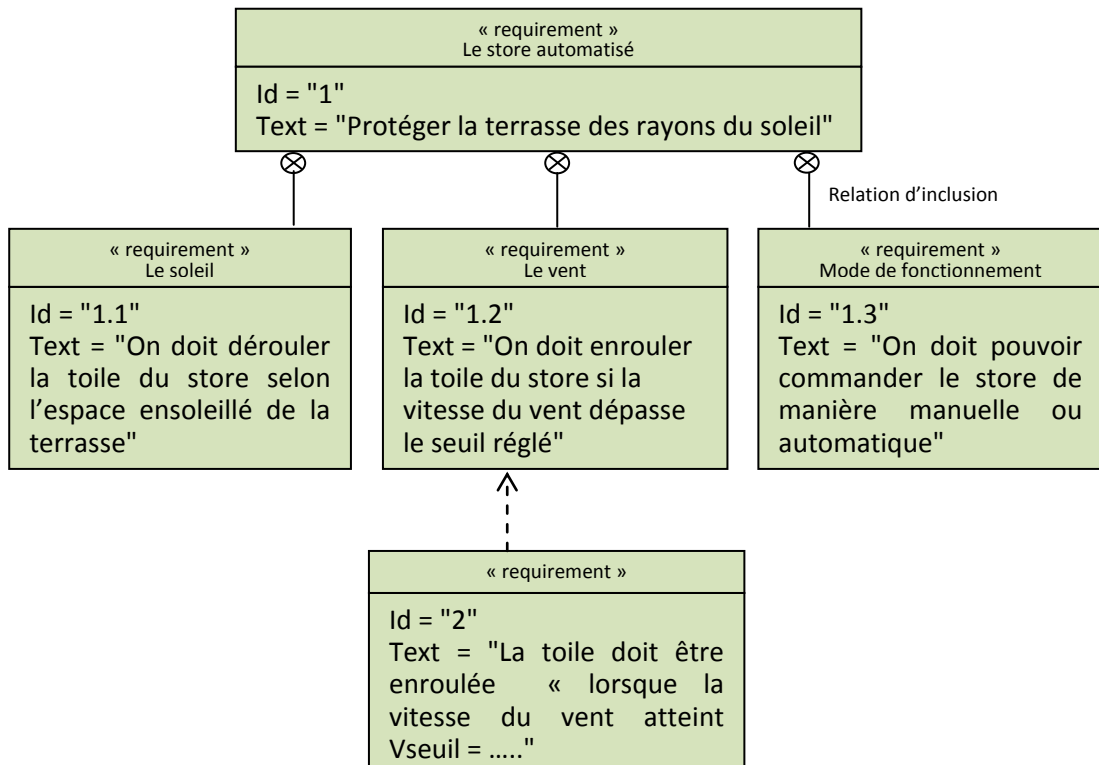
Les exigences servent à établir un contrat entre le client et les réalisateurs du futur système.

**b. Représentation graphique du diagramme des exigences (REQ)**

- On indique l'exigence du système dans le premier rectangle, avec un texte descriptif et un identifiant unique ;
- On décompose cette exigence en exigences unitaires,
- On peut ajouter des données quantitatives et des précisions.

**c. Conseils**

- c.1 Ce diagramme ne doit indiquer ni la manière dont il va assurer le service ni les solutions technologiques envisagées.
- c.2 Plusieurs diagrammes de cas d'utilisation peuvent être établis pour un système afin d'en améliorer la compréhension.



**c. Conseils**

- Pour les débutants, ne pas chercher à poser toutes les exigences pour que votre diagramme reste facile à lire ;
- Réaliser plusieurs diagrammes si cela est nécessaire ;

- Regrouper les exigences techniques sur un même diagramme et les autres exigences sur un autre.

**D.2.7 Le diagramme de définition de blocs**  
**Notation SysML : BDD**  
**a. Rôle du diagramme :**

On peut définir deux diagrammes BDD :

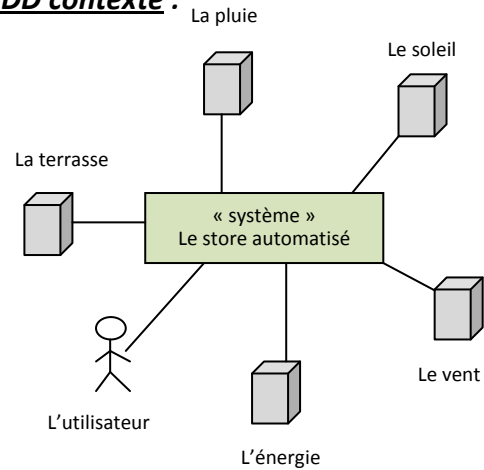


- BDD contexte : il définit le système dans son environnement (les éléments qui interagissent avec le système) ;
- BDD système : Il définit l'architecture matérielle et logicielle globale du système sous une représentation arborescente de blocs. Chacun d'eux se limite à la définition d'une famille (classe) de composants principaux.

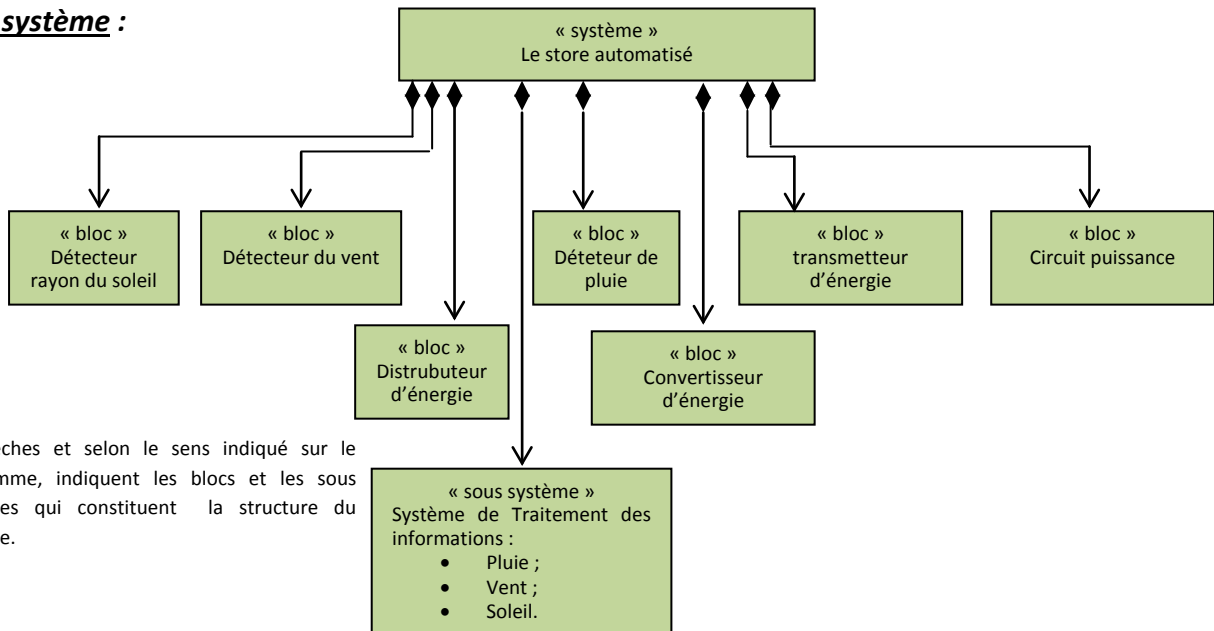
### b. Représentation graphique du diagramme

- Le bloc SysML « block » constitue l'élément de base pour la modélisation de la structure d'un système ;
- Ce bloc peut représenter un système ou un sous système ou un composant élémentaire.

### BDD contexte :



### BDD système :



Les flèches et selon le sens indiqué sur le diagramme, indiquent les blocs et les sous systèmes qui constituent la structure du système.

### d. Conseils

- Un BDD ne décrit ni le fonctionnement ni le comportement du système ;
- Ce diagramme est utilisé pour montrer les blocs et sous systèmes essentiels du système ;
- Il n'est pas obligatoire de faire apparaître les propriétés et les opérations dans chaque bloc ou sous systèmes. Ainsi, il présente une vue globale de la structure du système.

### D.2.7 Conclusion

Le langage de modélisation des systèmes technique complexe à pour objet :

- D'analyser la structure des systèmes techniques et leur fonctionnement ;
- De décrire et de concevoir des systèmes techniques ;

- De vérifier et de valider la faisabilité d'un système avant sa réalisation.

Ainsi, Le SysML permet de représenter et de communiquer les divers aspects du système sous forme de diagrammes qui décrivent deux aspects d'un système :

- Aspects comportementaux à partir des :
  - ✓ Diagrammes fonctionnels qui répondent à la question fondamentale recherchée : Que doit faire le système ? (Diagramme des cas d'utilisation et diagramme des exigences).
  - ✓ Diagrammes dynamiques qui visualisent le comportement d'un système (Diagramme de séquence et diagramme d'état).
- Aspects structurels à partir des diagrammes de définition de blocs et de

blocs interne (Ce sont des diagrammes statiques).

Analysons les diagrammes du SysML (diagramme des cas d'utilisation, diagrammes des exigences et le diagramme de définitions de blocs) pour retrouver les résultats obtenus par les outils de l'analyse fonctionnelle.

Le **diagramme des cas d'utilisations** nous permet de :

- Recenser les éléments de l'environnement du système (utilisateur, soleil, vent, terrasse, énergie) ;
- Ressortir la fonction d'usage du système (protéger la terrasse des rayons du soleil) ;
- Visualiser les contraintes qu'il faut résoudre au cours de la réalisation du système :
  - S'alimenter d'une source d'énergie ;
  - Choisir le mode : Manuel ou automatique ;
  - Protéger la toile du store contre le vent fort.

### **Bibliographies**

**Skander Turkie.** *Ingénierie système guidée par le modèle : Application du standards IEEE 1528, de l'architecture MDA et du langage SysML à la conception des systèmes mécatronique. Thèse de Doctorat en Sciences et Techniques Industrielles à l'Université du Sud Toulon-Var. 2 octobre 2008.*

**DIDIER FAGNON, STÉPHANE GASTON.** *SysML : les diagrammes. Revue Technologie 178. Avril 2012.*

**M. BELMONTE.** *Outil de représentation SysML – Irobot – Professeur au Lycée Jean Perrin Marsielle.*

**DONIS JOLIVET.** *Les systèmes à événements discrets. Partie II : Les systèmes séquentiels. Février 2014*

**Guillaume FINANCE.** *Modélisation SysML. Septembre 2010 ([www.umlchannel.com](http://www.umlchannel.com))*

**Pascal Roques.** *Le sysML par l'exemple. Eyrolles 2009*

On retrouve donc les résultats obtenus par les outils « bête à cornes » et « pieuvre ». Le diagramme **UC** répond à la question : Quels sont les services rendus par le système ?

Le **diagramme des exigences** définit en termes d'exigences liées principalement aux contraintes qu'il faut résoudre pour satisfaire le besoin déclaré. D'une autre manière, le diagramme des exigences traduit le cahier des charges sous forme de décomposition en exigences. Ce diagramme permet de raffiner d'avantage les exigences d'un système chiffrées ; cela nous rappelle les critères d'appréciations et leurs niveaux lors de la caractérisation des fonctions rendues par un système.

Le **diagramme de définition des blocs** traduit l'aspect structurel du système. Il expose d'une manière simpliste les constituants matériels du système.