

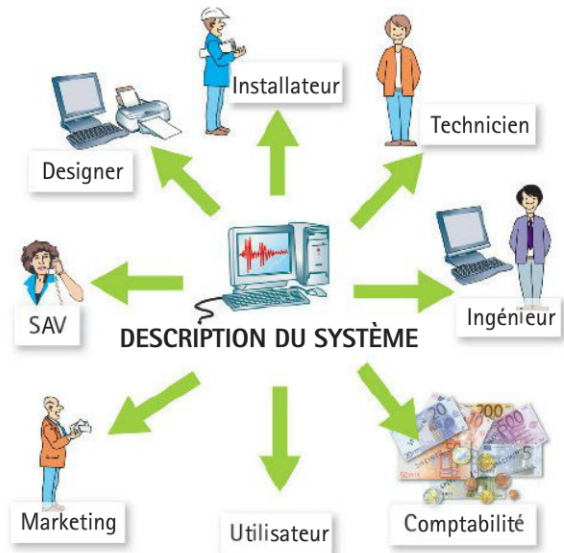
1 Pourquoi des modèles de description d'un système ?

Une description consiste à réunir toutes les informations concernant un système, de manière organisée et structurée. Ensuite, cet ensemble documentaire évolue et accompagne le système durant tout son cycle de vie.

Cette démarche de **l'ingénierie simultanée** permet d'assurer la transmission et l'enrichissement des informations, de la conception jusqu'à l'utilisation. Le langage utilisé pour la description doit donc être compréhensible par tous les acteurs pour faciliter les échanges et le travail collaboratif.

À son niveau d'intervention, chaque acteur a besoin d'utiliser ou de fournir des informations sur le fonctionnement et la structure du système afin de satisfaire le besoin pour lequel il existe :

- l'**ingénieur** pour préciser les exigences attendues et créer les solutions constructives ;
- le **technicien** pour fabriquer le produit ;
- le **service achat** et la **comptabilité** pour commander les composants et les constituants ;
- le **service commercial** et **marketing** pour promouvoir le produit ;
- le **service après vente** pour assurer la maintenance ;
- le **client** pour utiliser le produit ;
- ...



Document 1 La description réunit toutes les informations relatives au système

2 Quels éléments de description ? [Voir fiche C.1.1](#)

Tous les systèmes, leurs fonctions, leur fonctionnement, leurs structures... ont besoin d'être décrits dans chaque phase de leur vie, quel que soit leur domaine :

- Produits manufacturés
- Construction
- Logiciels
- Services

Les systèmes pluritechniques sont décrits dans un langage commun. Les produits immatériels, comme les logiciels ou les services, sont également décrits par des codes de représentation.

EXEMPLES

Objets de la modélisation



Scooter hybride



Viaduc



Logiciel

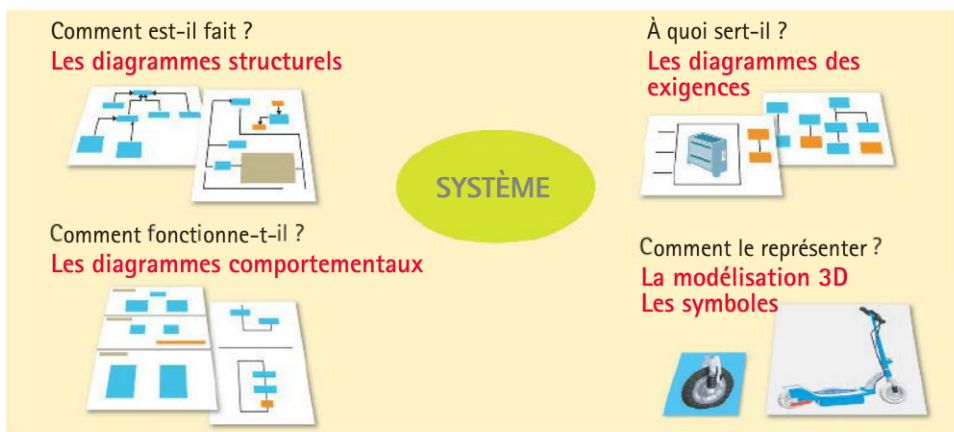


Carte électronique

3 Comment approcher un modèle de représentation ?

Pour décrire complètement un système, il est nécessaire de se placer suivant plusieurs points de vue qui dépendent de l'intention à communiquer :

- **fonctionnel** : permet de recenser toutes les fonctions à réaliser et leurs niveaux (voir *partie I*).
- **structurel** : permet de mettre en évidence les composants du système et leurs interactions.
- **comportemental** : permet de définir les conditions et paramètres de fonctionnement du système de manière ordonnée et optimisée, et les interactions avec les acteurs.
- **réaliste** : permet de représenter les formes du système et de ses composants à l'aide de dessins ou de modèles 3D.
- **schématique** : permet de décrire le système à l'aide de schémas de principe (non normalisés) ou de symboles normalisés.



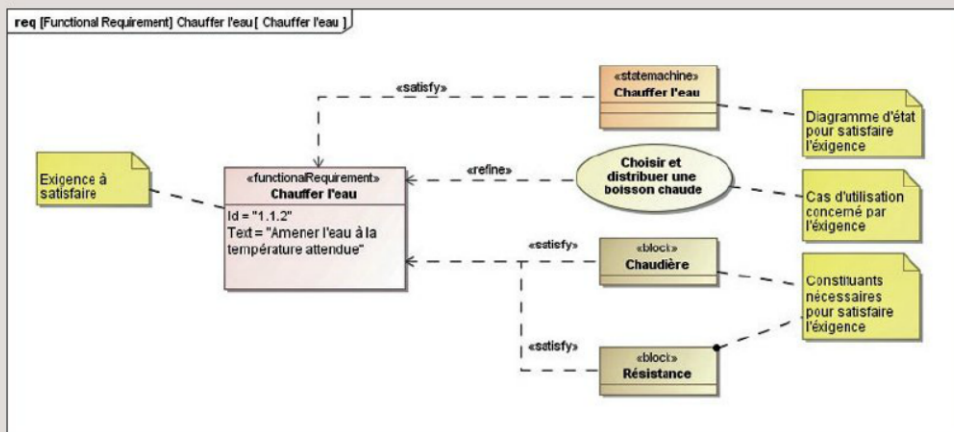
Document 2 Les différents points de vue de la description

Quels que soient les points de vue, toutes ces approches doivent assurer la **traçabilité** des **exigences** du système qui sont définies dans le cahier des charges, et les moyens permettant de les **réaliser**, de les **évaluer** et de les **satisfaire**. Ainsi, il sera possible de mettre en évidence comment une fonction attendue par le client se traduit en solutions technologiques.

EXEMPLE

Fonction « chauffer l'eau d'une machine à café »

Lien entre la fonction attendue et les moyens nécessaires à sa réalisation



II

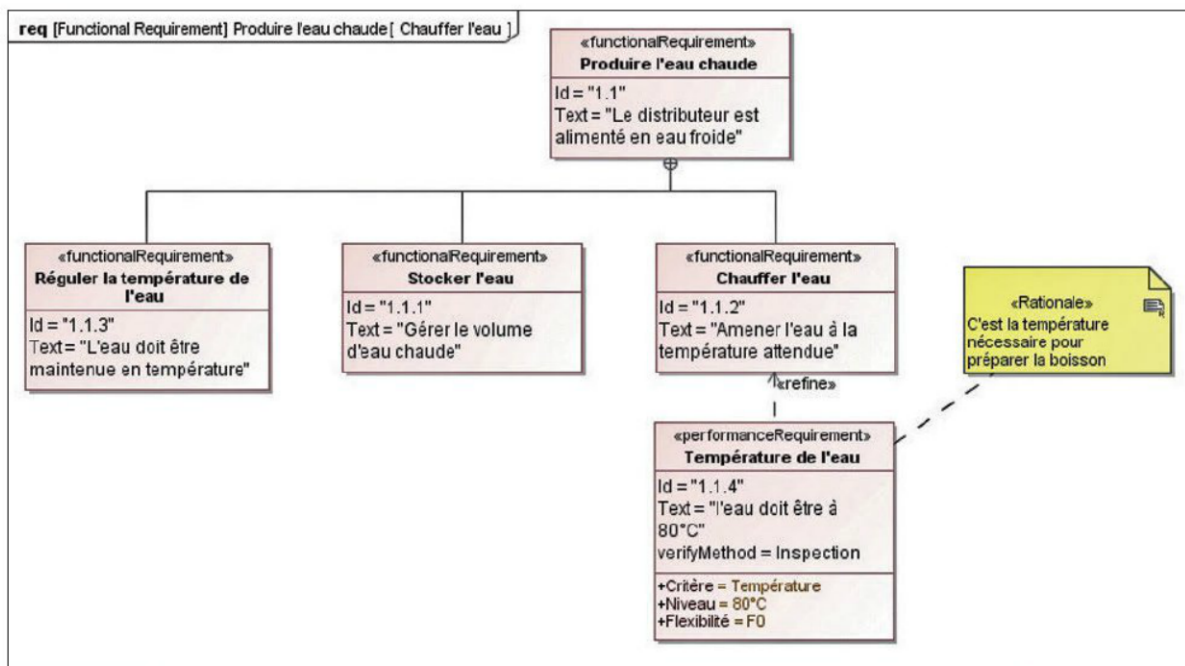
La description fonctionnelle

1 Comment exprimer les exigences ?

Que l'on soit en phase d'expression du besoin ou en analyse de l'existant, il est nécessaire de préciser les besoins et leurs limites (**voir partie 1 § 3 : « cahier des charges »**). Ce besoin s'exprime par des **exigences**. Il peut évoluer durant tout le cycle de vie du système, pour assurer par exemple son évolution et sa maintenance.

Le **diagramme des exigences** (SysML®) permet d'exprimer et de structurer les besoins au niveau de chaque fonction, et ainsi d'assurer la traçabilité des fonctions. Ce diagramme est une traduction du cahier des charges sous forme graphique : c'est un élément de la description fonctionnelle du système qui s'enrichit progressivement tout au long de l'étude.

➔ Voir fiche **C 2.5**



Document 3 Extrait d'un diagramme des exigences fonctionnelles du distributeur de boissons Colibri ➔ Voir fiche **S 8**

2 Comment préciser l'évolution des exigences ?

Chaque exigence peut bénéficier d'attributs qui permettent de suivre l'avancement de la conception ou de classer les fonctions. Ces attributs peuvent être :

- l'importance de l'exigence : poids fonctionnel ;
- la priorité : haute, moyenne, basse ;
- le statut de l'exigence : validée, testée, proposée, non respectée... ;
- le niveau ;
- la flexibilité ;
- le service concerné : fabrication, marketing....

Tous ces attributs doivent être mis à jour en temps réel et peuvent être assortis de commentaires ou de notes.

1 De quoi est composé le système ?

→ Voir fiche C 2.5

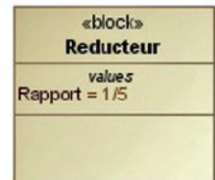
Décrire la structure et l'agencement des éléments d'un système est l'objectif même d'une démarche de conception ou d'analyse de l'existant.

Le **diagramme de définitions de blocs** (SysML®) permet de décrire symboliquement les ensembles matériels qui constituent le système. Un bloc peut correspondre à :

- un **ensemble** ;
- un **sous-ensemble** qui peut être décomposé à son tour en blocs ;
- un **programme informatique** ;
- un **composant mécanique, électronique, hydraulique...**

Ce diagramme, particulièrement utile en conception, aboutit à une liste des composants du système, qui se précise progressivement. Chaque bloc peut être défini par une référence et ses valeurs caractéristiques.

Ce diagramme permet d'obtenir la nomenclature complète du système ainsi que les paramètres de chaque composant.



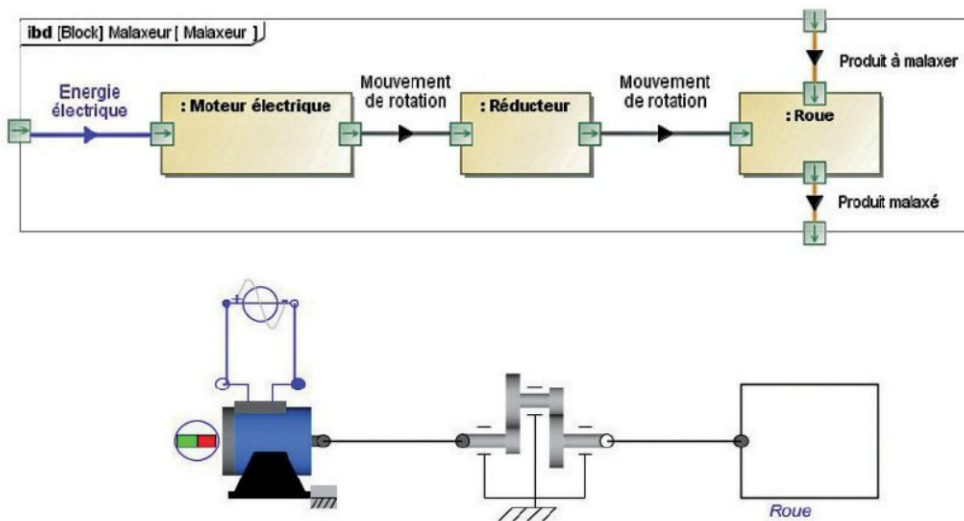
Document 4

Exemple de bloc avec ses paramètres

2 Comment les composants interagissent-ils ?

Il y a des échanges et des relations entre les éléments de structure d'un système qu'il est utile de caractériser. Le **diagramme de bloc interne** (SysML®) permet de mettre en évidence les relations entre les blocs et de les connecter entre eux.

Ce diagramme permet de décrire les solutions constructives liées aux flux d'énergie et d'informations. Il permettra de construire le modèle de comportement physique du système étudié afin de réaliser des simulations et de caractériser ses performances (voir *partie 3*).



Document 5 Création d'un modèle de comportement à partir du diagramme de bloc interne du malaxeur des réservoirs du distributeur de boissons Colibri

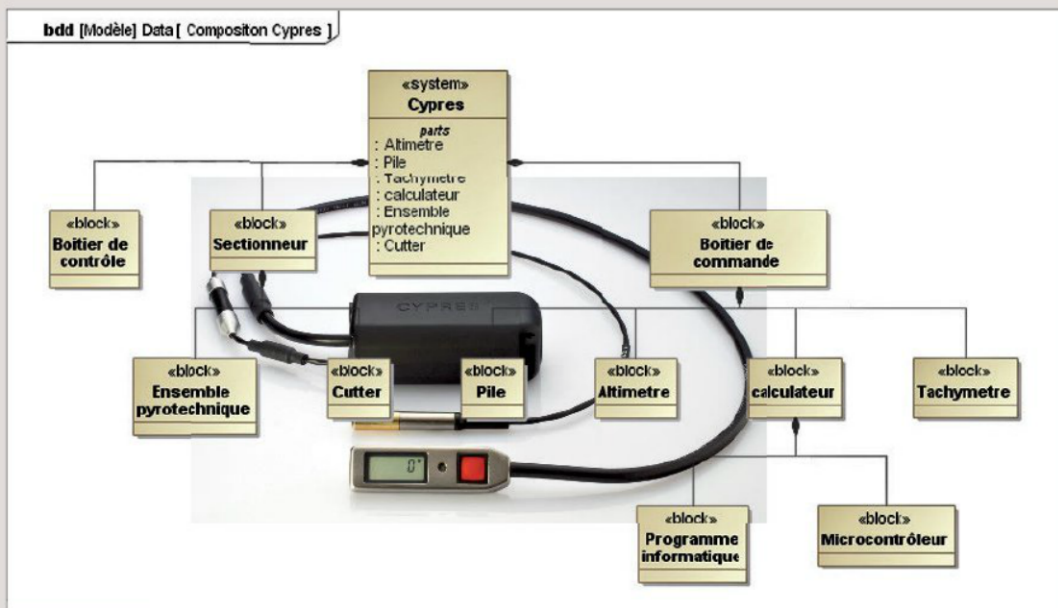
EXEMPLE

Description structurelle d'un « CYPRES »

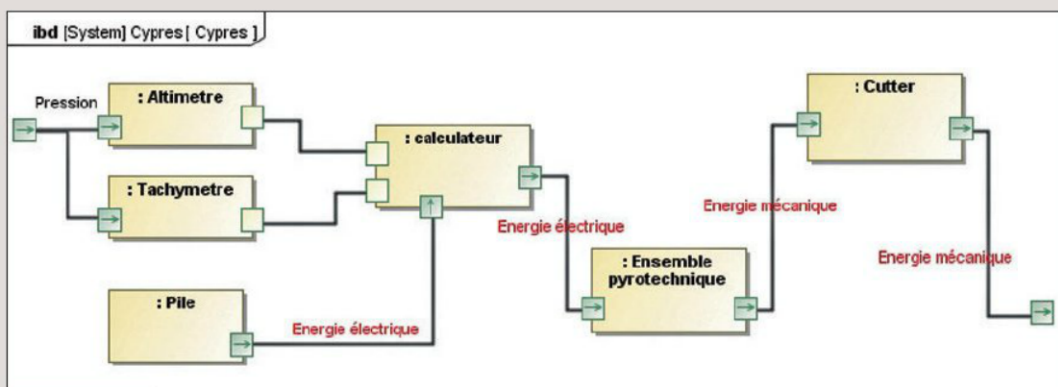
Cybernetic Parachute Release System (Airtec)



CYPRES permet le déclenchement automatique du parachute de secours en fonction de la hauteur et de la vitesse de chute du parachutiste. Par défaut, le CYPRES déclenche à 225m si la vitesse de chute est supérieure à 35 m/s.



Document 6 Diagramme de définition de blocs



Document 7 Diagramme de bloc interne

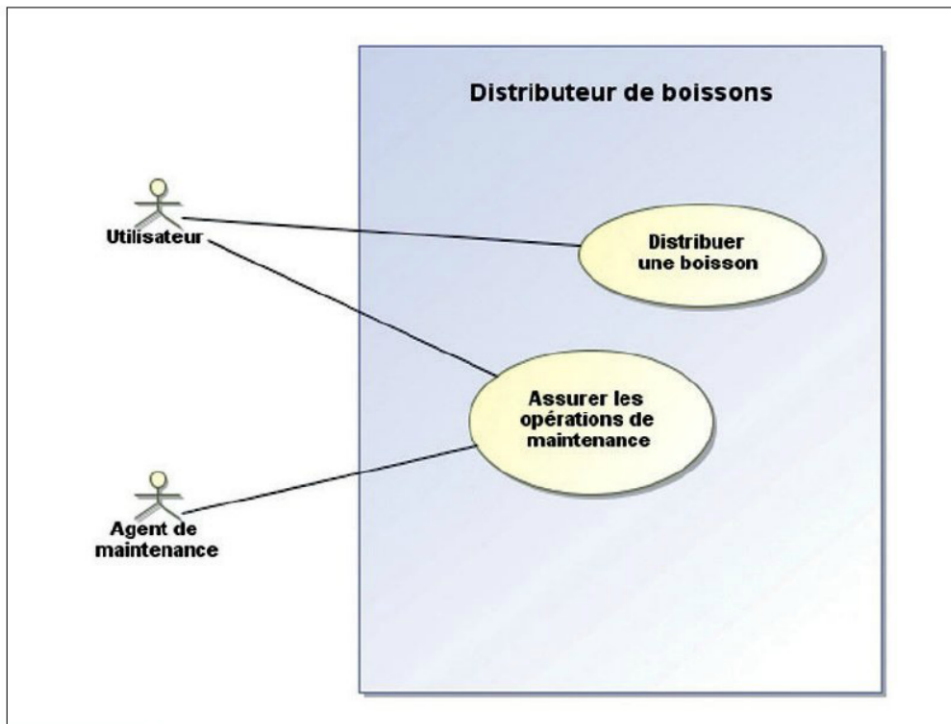
1 Quelles sont les interactions des acteurs avec le système ?

↳ Voir fiche C.2.5

La définition d'une « frontière » autour du système permet de caractériser les échanges entre le système et l'environnement avec lequel il interagit afin de décrire les différents cas d'utilisation et les acteurs qui y participent.

Les acteurs peuvent être des humains ou des éléments qui interagissent avec le système.

Le **diagramme des cas d'utilisation** (SysML®) permet de décrire ces différentes situations qui concernent tout le cycle de vie. Celles-ci doivent correspondre à de réels cas d'utilisation dont le scénario nécessite une description plus précise à l'aide de diagrammes de séquences ou d'états.



Document 8 Diagramme des cas d'utilisation du distributeur de boissons Colibri

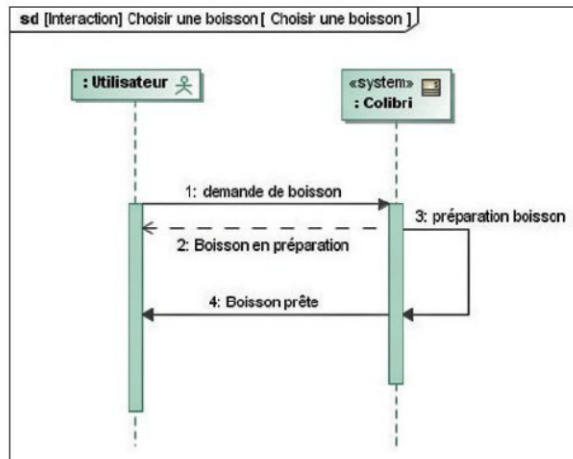
2 Quel rôle jouent les acteurs pour le système ?

Le comportement d'un système, ou d'un de ses éléments, en fonction des sollicitations externes ou internes peut être décomposé en :

- comportement temporel (évolution dans le temps) ;
- comportement dynamique (évolution des actions) ;
- comportement physique (réaction à des contraintes physiques), qui est un élément particulier du comportement dynamique.

Le comportement temporel d'un système peut être décrit à l'aide d'un **diagramme de séquence** qui est un élément du modèle unifié SysML®.

Dans cette description, le système est vu de l'extérieur ; le scénario correspondant à **chaque cas d'utilisation** peut être décrit ainsi que les interactions entre le système et les acteurs. La description est indépendante des solutions permettant de réaliser les fonctions.



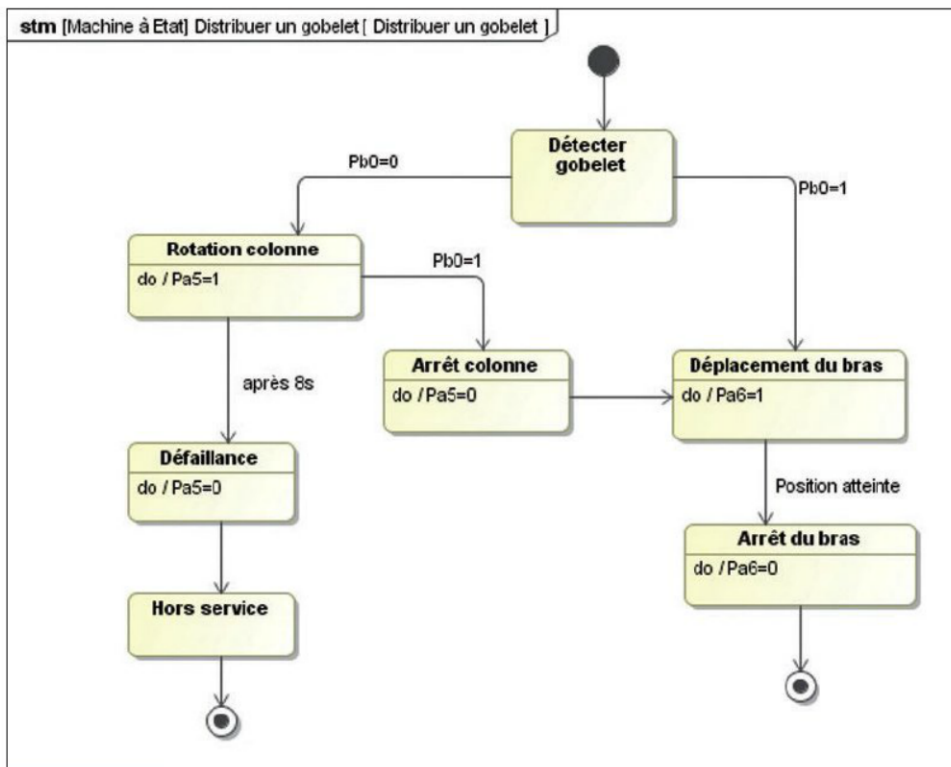
Document 9 Diagramme de séquence du cas d'utilisation « choisir une boisson » du distributeur de boissons Colibri

3 Comment s'organisent les activités ?

La description des états successifs du système en fonction des « événements » est nécessaire pour exprimer la succession des actions possibles et leur ordre d'apparition.

Le modèle utilisé est le **diagramme d'états** (SysML®) qui permet d'identifier les « états » successifs du système et leurs conditions d'évolution.

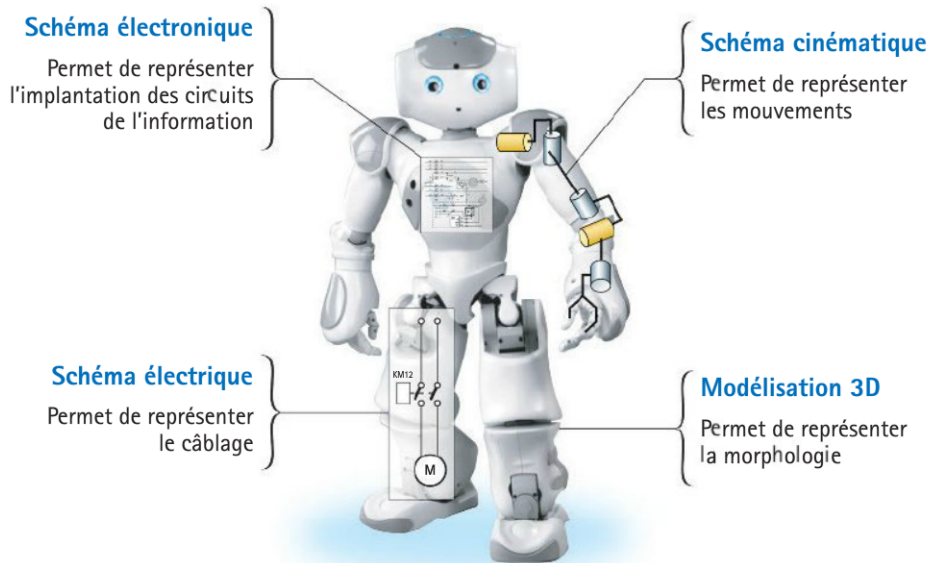
Ce diagramme peut ensuite être exporté dans les logiciels de programmation et ainsi simuler le fonctionnement du système et générer un programme transférable.



Document 10 Diagramme d'états « fournir un gobelet » au distributeur de boissons Colibri

V

Les représentations réaliste et schématique



Document 11 Exemples de représentations du robot NAO Voir fiche S6

1 Représenter le réel

La représentation du réel permet d'avoir une vue réaliste du système. Cette vue peut être matérialisée sous forme de dessin (représentation sensible) ou de modélisation 3D volumique.

1.1 Afficher son style

La recherche de style d'un produit ou d'un ouvrage passe par la représentation graphique. Les croquis permettent d'effectuer des choix pour le développement du système et de mettre en évidence le fonctionnement. La recherche de style ne concerne pas uniquement les formes mais aussi la texture des matériaux, les sons, les odeurs.

EXEMPLES

Design de montres GPS et croquis projet d'une maison filière acier Villavenir



1.2 Modéliser en volumique

La modélisation volumique permet de représenter virtuellement la structure mécanique du système, c'est également l'entrée dans **la chaîne numérique**.

a) L'origine du modèle Voir fiche M 2.1

Plusieurs possibilités permettent de créer le modèle volumique :

- la modélisation en **Conception Assistée par Ordinateur (CAO)**.
- la **numérisation** : cette technique permet d'acquérir un nuage de points caractéristique d'une surface réelle.
- la **sculpture virtuelle** : cette méthode permet de créer un modèle numérique en 3 dimensions en imitant le geste du sculpteur sur un volume de matière grâce à un bras à retour de force.

EXEMPLES

Modèles numériques volumiques (3D) et dispositif de sculpture virtuelle



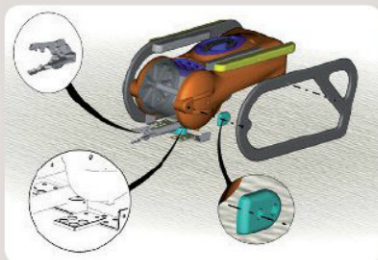
 Voir fiche C 2.3

b) Utiliser le modèle numérique

À partir de cette modélisation, il sera possible de simuler le comportement, le fonctionnement et la réalisation de l'ensemble des composants mécaniques du produit, mais également de créer une documentation du produit pour l'utilisation et la maintenance.

EXEMPLES

Modèles 3D



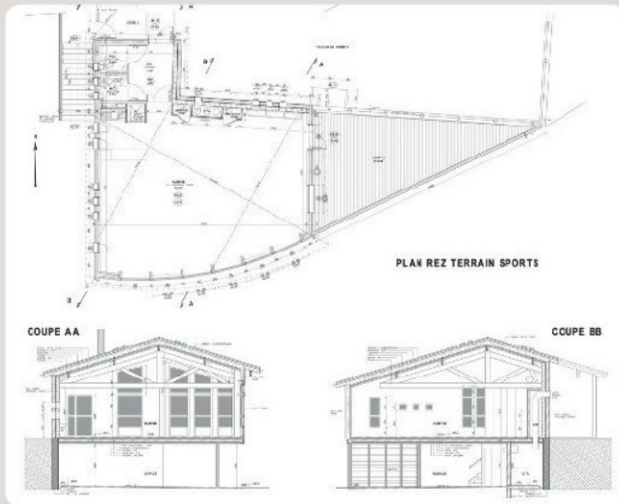
Le modèle 3D permet, par exemple, l'édition de notices de montage (Dassault Systèmes SolidWorks Corp)



La réalité augmentée est possible grâce au modèle 3D (Laster Technologies, www.laster.fr)

Le passage du modèle en 3 dimensions (3D) au plan (2D) se fait grâce à des fonctions spécifiques présentes dans tous les logiciels de modelage volumique. Les documents 2D sont des éléments contractuels entre concepteurs et fabricants. Ils permettent d'emporter, par impression sur papier, les informations nécessaires à la réalisation ou à l'assemblage du système. Ces documents restent maintenant très souvent en format numérique pour être visualisés sur des appareils informatiques mobiles.

EXEMPLES



Le plan 2D est utile pour la construction d'une habitation (Saint-Apollinard, cantine scolaire, Atelier 3A)



La consultation des modélisations sur Iphone® (3DVIA Mobile – Dassault Systèmes)

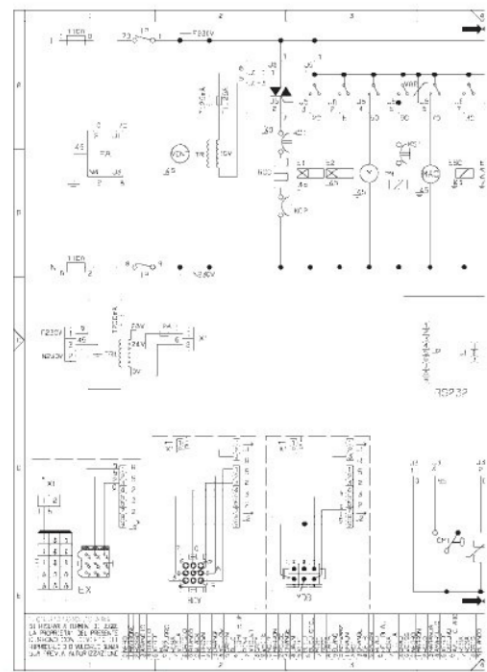
2 Représentation schématique

➔ Voir fiches **M 2.2** • **M 2.3** • **C 2.4**

La représentation schématique permet de décrire la structure ou le fonctionnement du système suivant un point de vue défini.

On peut retrouver des représentations normalisées (symboliques) ou libres, liées à :

- **la structure matérielle (composants physiques) :**
 - Le schéma cinématique met en évidence les différents mouvements possibles d'un ensemble mécanique du système en s'affranchissant des volumes (document 11).
 - Le schéma structurel permet de définir les principes d'assemblage d'éléments mécaniques.
 - Le schéma de câblage électrique permet de décrire les interconnexions physiques entre les composants d'une chaîne d'énergie électrique (document 12).
- **l'énergie :** le schéma permet de montrer la circulation de l'énergie dans le système (équipotentielle). Il peut être électrique (schéma de principe), pneumatique ou hydraulique.
- **l'information :** ce schéma précise le parcours des informations au sein du système. Le schéma peut être électrique, électronique, informatique (datagrammes, schémas blocs, organigrammes...).



Document 12 Exemple de schéma électrique du Colibri (distributeur de boissons)

Support : Distributeur de boissons Colibri de la société Necta

Problématique : L'entreprise Necta qui fabrique le distributeur de boissons Colibri souhaite diminuer l'impact environnemental de son produit.



Document 13 Distributeur Colibri

1 La situation

Le Colibri est classé dans les **produits consommateurs**, c'est-à-dire les produits pour lesquels l'impact environnemental le plus important se situe en **phase d'utilisation**. En se basant sur la roue de l'écoconception, on constate qu'il serait intéressant de travailler en priorité sur l'optimisation de cette phase.

L'équipe en charge de l'étude rassemble toutes les informations utiles permettant de réaliser une analyse de cycle de vie mono-étape (phase d'utilisation).

L'essentiel des informations se trouve dans les documents de description de la machine :

- dossier technique ;
- description SysML® ;
- description schématique ;
- modélisation 3D.



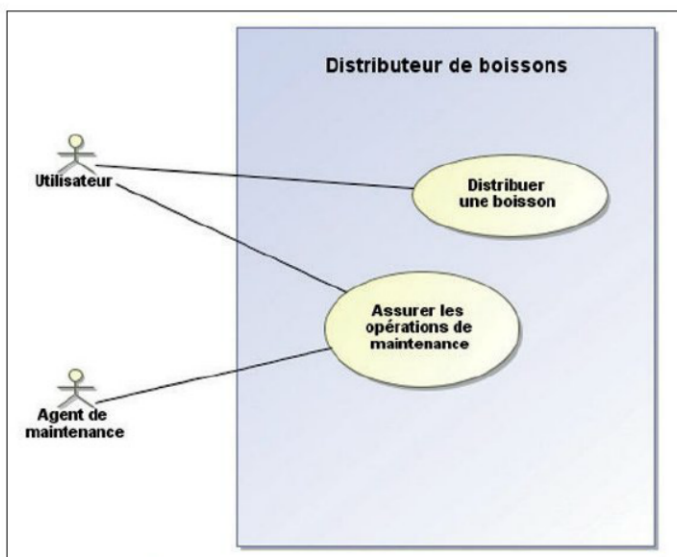
Optimisation de la phase d'utilisation

Document 14 Roue de l'écoconception

1.1 Extraits des informations utiles à l'étude

• Dans cette étude sont retenus uniquement les cas d'utilisation en phase d'utilisation qui sont :

- distribuer une boisson chaude ;
- assurer les opérations de maintenance.



Document 15 Diagramme des cas d'utilisation du Colibri

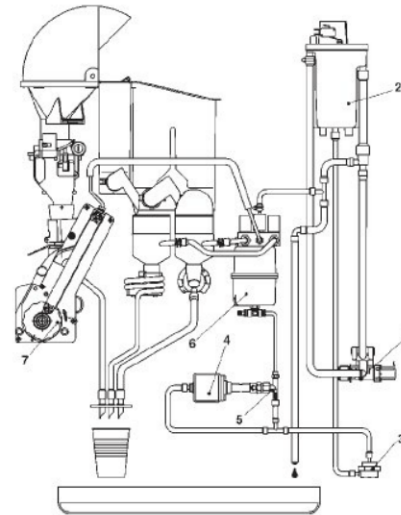
- Le dossier technique donne les informations utiles au calcul de performance énergétique (document 16).

- Le circuit hydraulique est le sous-ensemble le plus consommateur d'énergie. Il est composé des constituants suivants (document 17) :

- 1 - Électrovanne d'entrée d'eau
- 2 - Air-break
- 3 - Compteur volumétrique
- 4 - Pompe à vibrations
- 5 - By-pass
- 6 - Chaudière
- 7 - Groupe café

	Espresso	Instant
Quantité pour 30 distributions	0,96 l	1,21 l
Température moyenne boisson	76.2 °C	76.1 °C
Consommation		
Réalisation de température	28,6 Wh	28,6 Wh
Pour 24 h de stand-by	1,414 Wh	1,414 Wh
Pour 30 boissons/heure	171,2 Wh	152,9 Wh

Document 16 Extrait du dossier technique du Colibri



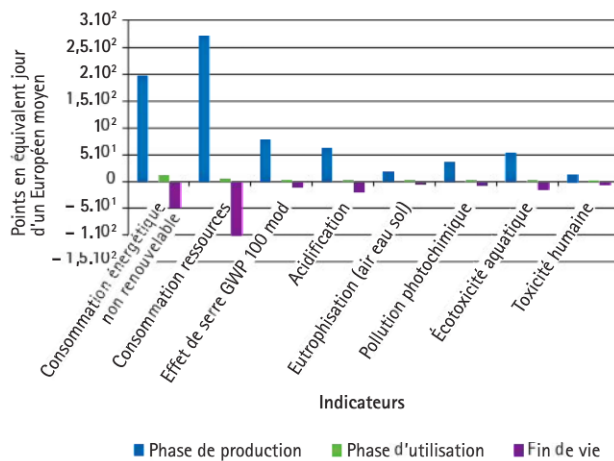
Document 17 Circuit hydraulique du Colibri

1.2 Résultats de l'étude d'impacts environnementaux

- L'unité fonctionnelle retenue pour l'étude est la distribution de 60 boissons par jour pendant 5 ans. Les flux de références associés sont :

- le nombre de gobelets ;
- l'eau ;
- les produits.

Système étudié : 60 gobelets par jour pendant 5 ans soit 90 000 gobelets environ



Document 18 Impact environnemental

La phase d'utilisation correspond à la consommation d'énergie électrique suivant le mix français. La phase de production correspond à la fabrication des gobelets. La fin de vie des gobelets est considérée suivant un scénario de déchets ménagers.

2 Les voies d'amélioration

Après l'étude de toutes les informations, l'équipe décide d'explorer trois voies d'amélioration des impacts environnementaux :

- ajouter une fonction « Mug » : cette fonction permettra de limiter la consommation de gobelets.
- optimiser les performances énergétiques, notamment au niveau de la chaudière.
- mettre en place un service de télémaintenance : ceci permettra d'éviter les déplacements inutiles d'agents de maintenance et d'optimiser le transport des consommables.

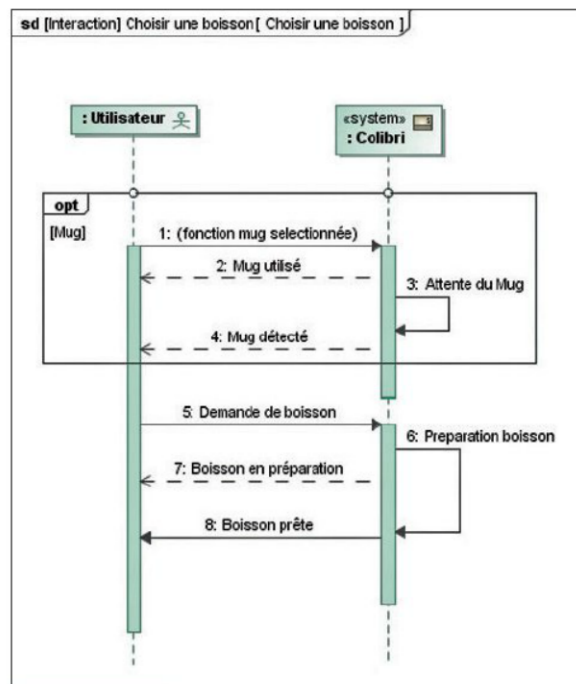
Trois équipes sont constituées, chacune ayant en charge une voie d'amélioration ; elles devront identifier les modifications à apporter à la machine actuelle et les gains potentiels sur les impacts environnementaux.

2.1 Solution 1 : Ajouter une fonction « Mug »

Dans le cas d'une utilisation en entreprise, on considère que les utilisateurs de la machine sont toujours les mêmes et qu'il leur est possible d'avoir un mug, soit personnel, soit à disposition à côté de la machine. Néanmoins, la fonction de distribution automatique de gobelets doit rester disponible.

a) Diagramme de séquences

Avec la fonction « Mug », le scénario du cas d'utilisation « choisir la boisson » doit être complété par une option.

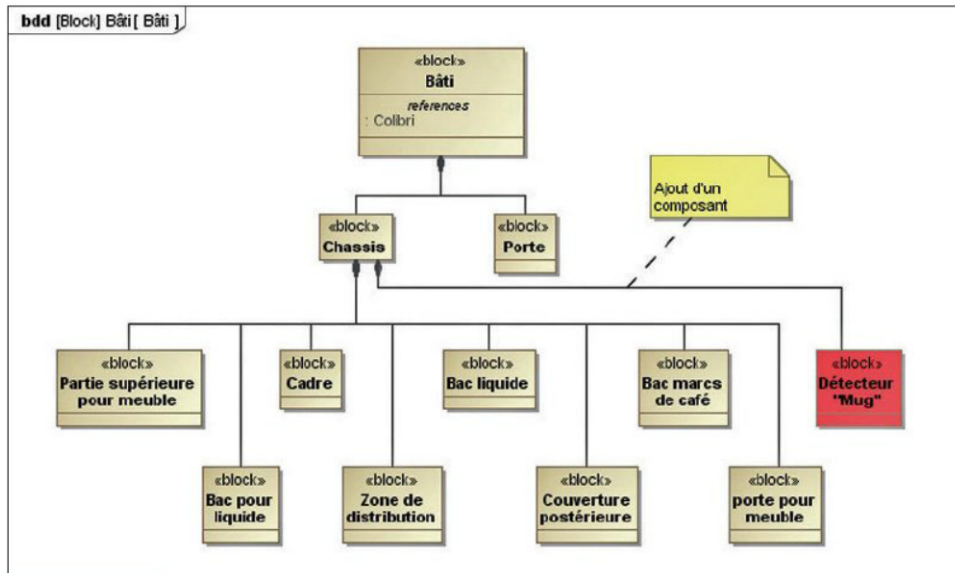


Document 19 Diagramme de séquences avec fonction « Mug »

b) Diagramme de définition de blocs et diagramme de bloc interne

Un capteur permettant de détecter la présence du mug devra être ajouté. En effet, la forme des mugs étant variable, le détecteur à contact ne suffit pas ; il sera nécessaire d'ajouter un détecteur sans contact.

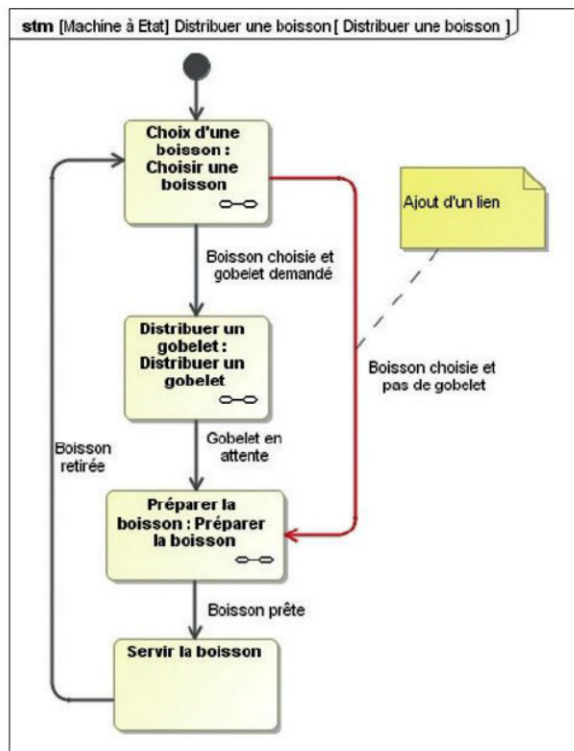
Le diagramme de définition de blocs doit être mis à jour.



Document 20 Diagramme de définition de blocs avec fonction « Mug »

c) Diagramme d'états « distribuer la boisson »

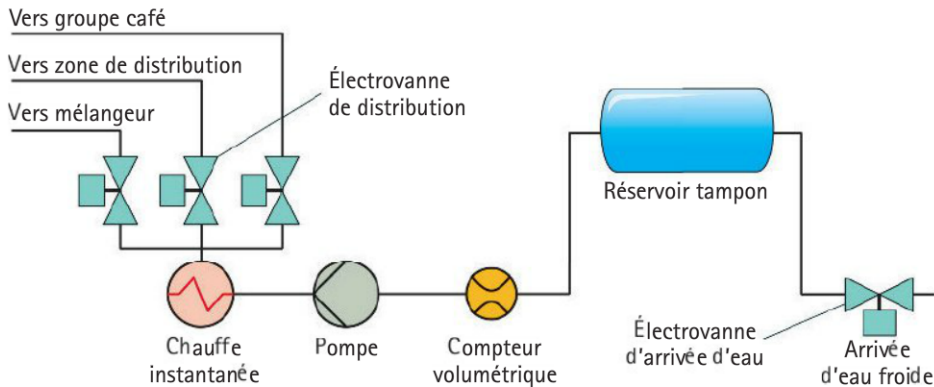
Le diagramme d'états devra prendre en compte cette nouvelle fonctionnalité.



Document 21 Diagramme d'états avec fonction « Mug »

2.2 Solution 2 : Optimiser les performances énergétiques de la chaudière

Dans le but de diminuer la consommation d'énergie de la chaudière, plusieurs solutions peuvent être envisagées : isolation de la chaudière, recherche de matériau plus performant... La solution retenue, à explorer, est de remplacer la chaudière par un système de chauffe instantanée. Cela va donc modifier le circuit hydraulique.



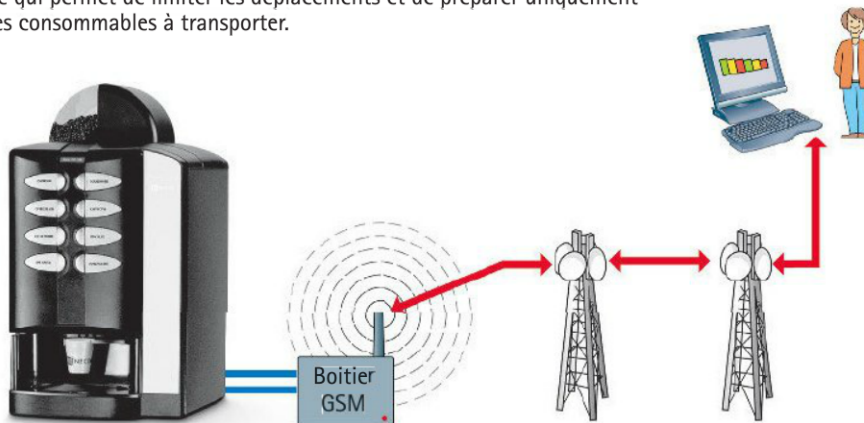
Document 22 Schéma symbolique hydraulique du Colibri avec chauffe instantanée

2.3 Solution 3 : Mise en place d'un service de télémaintenance

La machine actuelle bénéficie déjà d'un logiciel permettant de télécharger, via une liaison série RS232, toutes les informations nécessaires à la maintenance. Pour mettre en œuvre cette solution, il suffit d'ajouter un module de communication GSM à la carte de contrôle de la machine.

Ce boîtier peut communiquer avec la machine via le port série RS232 destiné à la maintenance.

L'agent de maintenance peut s'informer à distance des différents niveaux, ce qui permet de limiter les déplacements et de préparer uniquement les consommables à transporter.



Document 23 Schéma de principe du Colibri avec module GSM

Ressources et références

1 Références numériques

<http://www.omgsysml.org/>
<http://www.cypres.cc/>
<http://www.magicdraw.com/>
<http://www.nwglobalvending.com/products-brands/vending/colibri>
<http://www.aldebaran-robotics.com/fr>
<http://mecatools.fr> (logiciels de réalisation de schémas cinématiques)

2 Normes et références diverses

Norme électrique (Basse Tension et Très Basse Tension) : NF-C-15-100 (AFNOR)
Norme de schématisation électrique et électronique : DIN EN 60617
Norme de schématisation mécanique : NF EN ISO 3952
Norme de schématisation hydraulique et pneumatique : NF ISO 1219
Norme de représentation mécanique : ISO 128-24, ISO 128-34, ISO 128-44, ISO/TS 128-71, ...
([http://www.iso.org/iso/fr/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=01 &ICS2=100&ICS3=20](http://www.iso.org/iso/fr/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=01&ICS2=100&ICS3=20))
SysML par l'exemple - Un langage de modélisation pour systèmes complexes,
Pascal Roques, mai 2009, Collection eBooks Informatique, Éd. Eyrolles