

CI 1 – IS

ÉTUDE DES SYSTÈMES PLURITECHNIQUES ET MULTIPHYSIQUES – INITIATION À L'INGÉNIERIE SYSTÈME

CHAPITRE 1 – INTRODUCTION À L'INGÉNIERIE SYSTÈMES

Quelles solutions utilisent les industriels pour proposer des produits compatibles avec le besoin des consommateurs ? Quelles solutions utilisent les industriels pour renouveler leur offre de produit ? Quelles solutions utilisent les industriels pour rester à la pointe de la technologie ? Quelles solutions utilisent les industriels pour mener à bien leurs projets ?



Concept car Peugeot Ex 1 [1] – 100% électrique

La bonne santé des industriels dépend de la réponse à ces questions. Pour cela de nombreux outils leurs permettent de maîtriser la conception, la réalisation, la diffusion et le recyclage des produits.

Le but de l'Ingénierie Système (IS) est de proposer des outils permettant d'aider les industriels lors de toute la vie d'un produit.

Problématique

Quels sont, dans un premier temps, les outils à notre disposition permettant de gérer au mieux la conception, la production, la diffusion et le recyclage des produits industriels ?

Savoir

SAVOIRS :

- A-C1.1 : Besoin, système, services attendus du système, cahier des charges fonctionnel, spécifications fonctionnelles, analyse du cycle de vie, acteurs, interactions, solution technique.
- A-C1.S1 : Décomposer une exigence en plusieurs exigences unitaires.
- A-C1.S2 : Identifier les interactions entre les acteurs et le système étudié.
- A-C3.1 : Analyse structurelle et comportementale.
- A-C3.2 : Chaîne d'information, chaîne d'énergie.

<http://xpressoles.ptsi.free.fr>
xpressoles.ptsi@free.fr

1	Définitions préliminaires	2
2	Cycle de vie	5
2.1	Définitions	5
2.2	Impact environnemental	6
2.3	Analyse du cycle de vie	7

3	Ingénierie Système	9
3.1	Industrialisation des systèmes	9
3.2	Nécessité de l'Ingénierie Systèmes	14
3.3	La modélisation SysML	14
4	La modélisation SysML [5]	15
4.1	Diagramme des exigences	16
4.2	Diagrammes comportementaux	16
4.3	Diagrammes structurels	20
5	Architecture fonctionnelles des systèmes	22
5.1	Chaîne fonctionnelle	22

Ce document évolue. Merci de signaler toutes erreurs ou coquilles.

1 Définitions préliminaires

Définition

Produit [2]

Résultat d'activité ou de processus.

Remarque

- Note 1 : le terme produit peut inclure les services, les matériels, les produits issus de processus à caractère continu, les logiciels ou une combinaison des deux.
- Note 2 : un produit peut être matériel (par exemple, assemblages ou produits issus de processus à caractère continu) ou immatériel (par exemple, connaissances ou concepts), ou une combinaison des 2.
- Note 3 : un produit peut être soit intentionnel (par exemple une offre aux clients) soit non intentionnel (par exemple, un polluant ou des effets indésirables).

Définition

Système[3][4]

Un système est un ensemble de composants interreliés 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)¹.

La frontière d'un système est une limite fictive qui permet d'isoler le système considéré et ses composants de son environnement (milieu extérieur).

1. International Council on Systems Engineering

Remarque

On abordera régulièrement la notion de *système complexe*. Un tel système est multiphysique et pluritechnologique. Cela signifie que son fonctionnement fait appel à plusieurs disciplines de la physique (mécanique, électronique, thermique, optique ...). Sa conception, sa fabrication et son fonctionnement font appel à un grand nombre de technologies.

Exemple



Automobile – Concept car Peugeot EX1



Loisir – Modélisme – Drone quadrihélice



Électronique – Téléphones à écrans flexibles – Oled [6]



Génie Civil – Pont Bacalan Bordeaux[7]

Ces systèmes sont multiphyiques et pluritechnologiques dans la mesure où ils intègrent à la fois de l'électronique ou de l'électrotechnique, de la mécanique, des matériaux innovants.

Définition

Utilisateur [2]

Toute personne ou entité pour laquelle le produit est conçu et qui exploite au moins l'une de ses fonctions à un moment quelconque de son cycle de vie.

Exemple

- Acteur du concept car EX1 : conducteur du véhicule
- Acteur du drone : joueur
- Acteur du téléphone : utilisateur
- Acteur du pont : commandant de bord

Définition

Une interaction avec un système complexe peut être défini par un échange d'un flux d'**énergie**, de **matière** ou d'**information**.

Exemple

- Conducteur ↔ Ex 1 : actions sur les commandes du véhicule entraînant son déplacement

Exemple

- Joueur ↔ drone : action sur les commandes entraînant l'envol du drone
- Utilisateur ↔ téléphone : échange de voix
- Commandant ↔ pont : requêtes du commandant entraînant la levée ou la baissée du pont

Définition

Besoin[2]

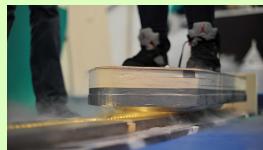
Ce qui est nécessaire à l'utilisateur et désiré par lui.

C'est une exigence qui naît de la nature, de la vie sociale ou économique (Larousse). Le besoin ainsi défini concerne la nature des attentes de l'utilisateur et non le volume du marché.

Exemple



Vibram fivefingers [8]



Magsurf – Surf à sustentation magnétique [9]



Segway[10]



Vélo électrique Audi [11]

Il est donc important que les attentes du client soient spécifiées en détail afin que le produit industriel soit en phase avec les besoins de l'utilisateur.

Définition

Exigence [3]

Une exigence permet de spécifier une capacité ou une contrainte qui doit être satisfaite par un système. Elle peut spécifier une fonction que le système devra réaliser ou une condition de performance, de fiabilité, de sécurité, etc.

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

Remarque

Une façon de structurer les exigences est de les trier ainsi :

- exigences fonctionnelles ;
- exigences légales ;

Remarque

- exigences environnementales ;
- exigences techniques ;
- exigences pratiques ;
- exigences énergétiques ;
- exigences marketing ;
- etc.

Définition

Cahier des charges fonctionnel [2]

Document par lequel le demandeur exprime ses besoins (ou ceux qu'il a la charge d'exprimer) en terme de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des critères d'appréciation ainsi que leur niveaux, chacun d'entre eux étant assorti d'un certain degré de flexibilité.

Spécifications fonctionnelles

Le cahier des charges peut donc interpréter comme une liste de spécifications fonctionnelles auxquelles le système doit répondre.

Exemple

Satellite d'observation géophysique DEMETER



L'orbite choisie pour DEMETER impose que ses panneaux solaires ne captent la lumière du Soleil que pendant une durée limitée à chaque révolution. Le courant n'est généré par les cellules des panneaux que pendant ces périodes éclairées qui permettent alors de recharger le système de batteries.

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
Gérer l'énergie de DEMETER	Durée d'éclairement des panneaux solaires	65 min	Maxi
	Capacité du système de batteries	15 A.h	-
	Nombre de circuits électriques à alimenter	44	Aucune
	Intensité dans le circuit	0,6 A	Maxi

Définition

Solution technique

La solution technique correspond au choix adopté par l'industriel pour répondre au besoin du client et aux exigences.

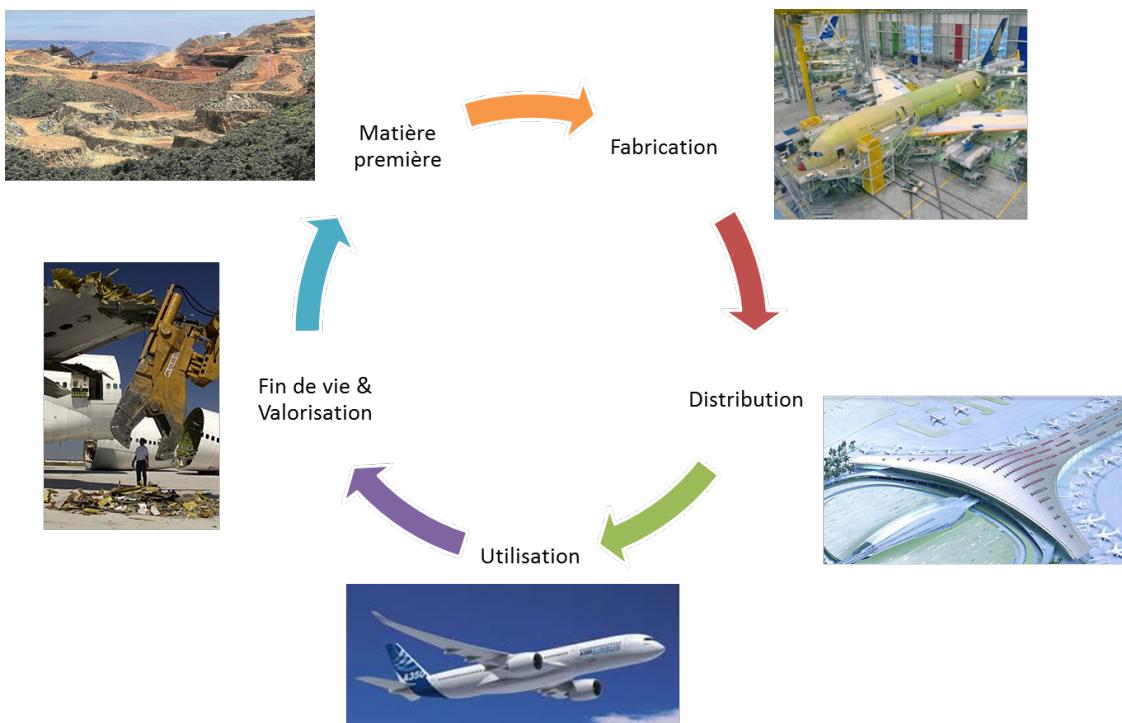
Exemple

Les Vibram fivefingers, le Magsurf, le Segway ou le vélo électrique Audi sont trois solutions techniques permettant de se rendre au Mourillon.

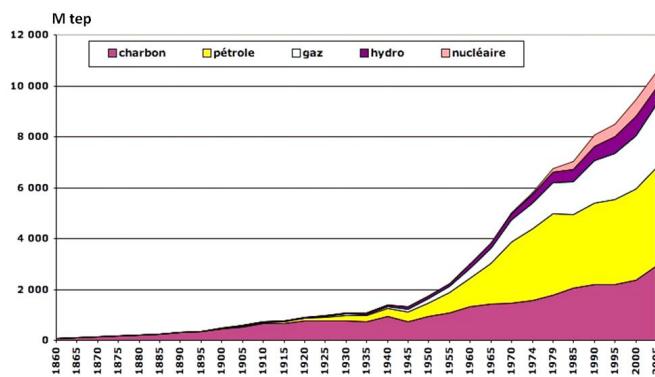
2 Cycle de vie

2.1 Définitions

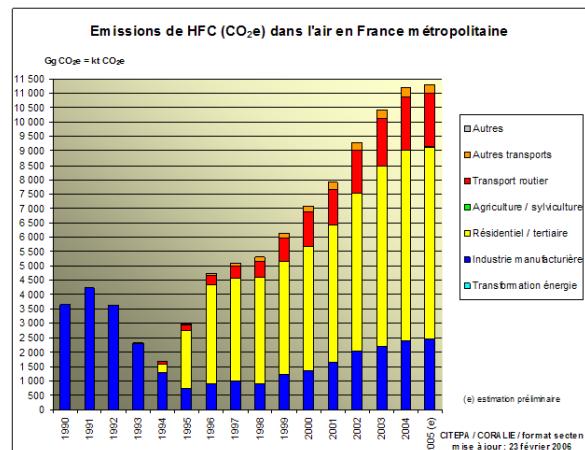
On peut considérer le cycle de vie d'un produit comme l'enchaînement des étapes ci-dessous.



Chacune des étapes consomme des ressources et a un impact certain sur l'environnement. Les ressources naturelles n'étant pas inépuisables et l'impact de la pollution humaine impactant toujours plus les écosystèmes, il devient nécessaire de limiter l'impact des produits sur l'environnement. C'est ce qu'on appelle l'éco-conception.



Consommation mondiale en millions de tonnes
équivalent pétrole. Schilling & Al



Emissions de CO2 en France métropolitaine

2.2 Impact environnemental

Les impacts environnementaux sont classés en 3 familles d'impact :

- ressources naturelles non renouvelables ;
- pollutions ;
- nuisances.

A chaque impact correspond alors une substance ou une unité de référence.

Familles d'impacts	Impacts	Substance ou unité de référence
Ressources naturelles non renouvelables	Consommation d'énergie non renouvelable	Mégajoule (MJ)
	Consommation de ressources naturelles non renouvelables	Antimoine (Sb)
Pollutions	Gaz à Effet de Serre (GES) ou Global Warming Potential (GWP)	Dioxyde de carbone (CO ₂)
	Acidification liée aux pluies acides	Dioxyde de soufre (SO ₂)
	Eutrophisation : enrichissement excessif des milieux aquatiques en sels nutritifs	Composé phosphaté (PO ₄ ³⁻)
	Dégénération de la couche d'ozone	Fréon 11 (CFC-11)
	Toxicité d'une substance sur l'être humain ou sur les autres organismes (écotoxicité)	1,4 Dichlorobenzène (1,4 DCB)
Nuisances	Acoustiques	Decibel (dB) Seuil de danger à 90 dB (klaxon)
	Visuelles	
	Olfactives	

Afin de pouvoir comparer les différents impacts environnementaux, on peut par exemple déterminer le taux de CO₂ équivalent émis.

Matériaux	Émissions équivalentes de CO ₂ en kg par tonne produite
Verre bouteille	120
Ciment	250
Acier	300 à 850 selon le pourcentage de ferrailles
Verre plat	400
Papier-carton	300 à 500
Plastiques (polyéthylène, polystyrène, PCV, PET...)	500 à 1600
Aluminium	600 à 3000 selon le pourcentage de déchets d'aluminium

2.3 Analyse du cycle de vie

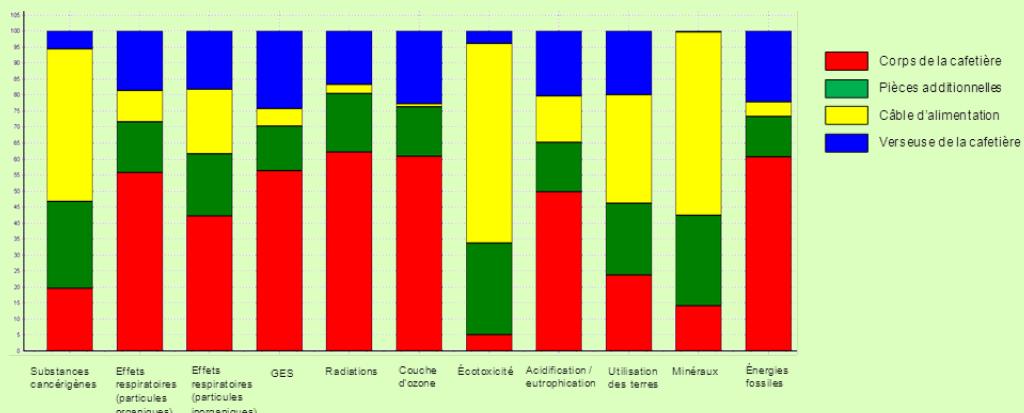
Définition

Analyse du cycle de vie

L'Analyse du Cycle de Vie réalise un bilan détaillé et quantitatif des entrées et des sorties mesurées aux frontières d'un produit. Cette analyse peut prendre en compte différents critères ou impact et les différentes étapes du cycle de vie mais afin de prendre en compte la notion de transfert d'impact, l'analyse multicritère / multi-étape est la plus pertinente.

Ainsi, pour chacune des étapes du cycle de vie d'un produit, il faut recenser les flux de matières et d'énergie. Les impacts environnementaux sont ensuite quantifiés sur l'ensemble du cycle de vie.

Cafetièrerie

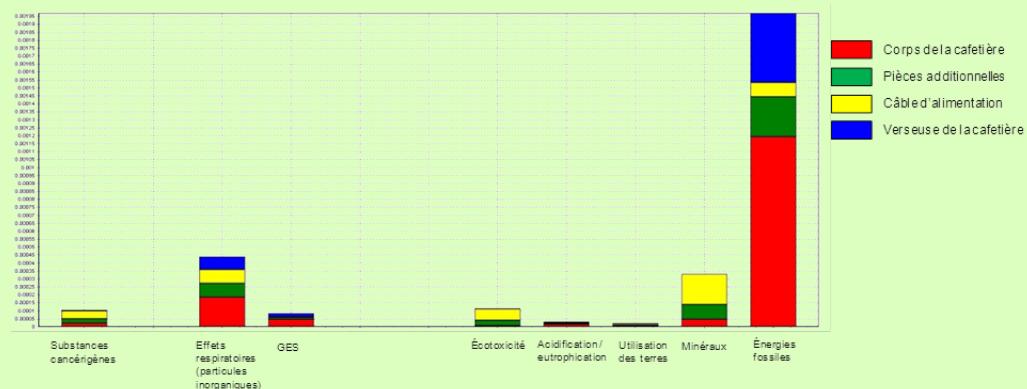


Toutes les catégories d'impacts sont à 100% car ils n'ont pas la même unité. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, il convient d'analyser l'importance des impacts en termes de contribution par rapport aux contributions globales. Par exemple, les émissions qui contribuent à l'acidification dans l'ACV sont-elles significatives par rapport aux émissions globales qui contribuent à l'acidification ?

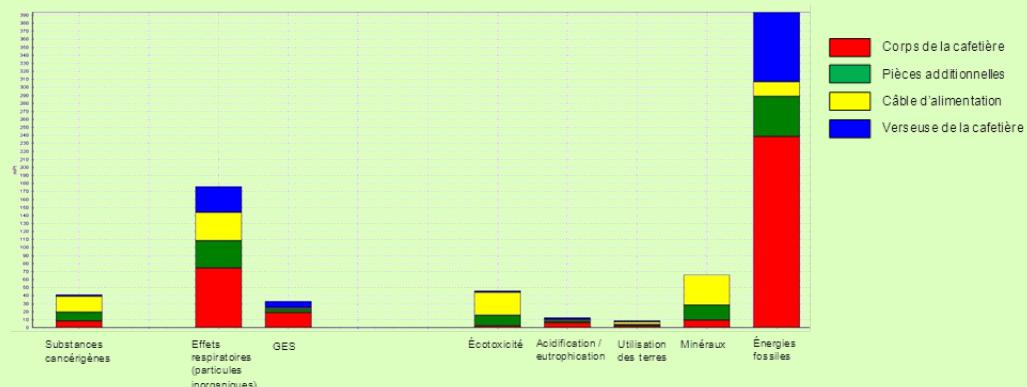
Exemple

C'est la phase de normalisation : les différentes familles d'impacts sont comparées avec les effets environnementaux causés par un européen moyen sur une année.

Les facteurs de normalisation représentent les émissions / consommations globales pendant un an sur une zone géographique donnée. Les résultats sont divisés par ce facteur, ce qui permet d'avoir une quantification de l'importance de l'émission par rapport aux émissions totales.



L'étape suivante est la pondération qui consiste à donner plus de poids aux impacts qui sont jugés plus « graves » : l'effet de serre est-il plus néfaste que l'épuisement des ressources ? Elle est de ce fait controversée car il s'agit de pondérer puis d'additionner des impacts de natures différentes, nécessitant des partis-pris importants parfois considérés comme arbitraires.



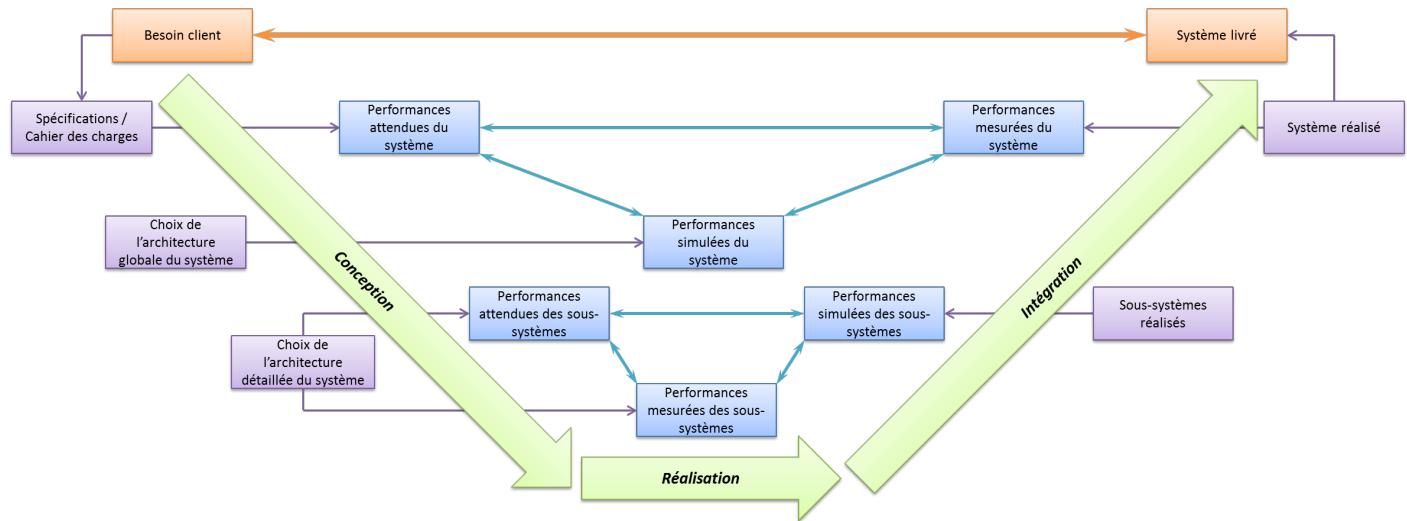
Exemple

3 Ingénierie Système

3.1 Industrialisation des systèmes

3.1.1 Cycle d'industrialisation

Le cycle d'industrialisation d'un système complexe peut être schématisé selon la figure suivante.



Problématique

Les principaux problèmes de l'ingénierie système pourraient être résumés ainsi :

Comment faire en sorte que le système livré par l'industriel soit en adéquation avec les besoins du client ?

Comment faire en sorte, à chaque étape de l'industrialisation que les écarts entre le produit en cours d'industrialisation et le produit souhaité par le client soient minimums ?

En effet, la vie des entreprises dépend de la vente des produits fabriqués. Il est donc indispensable de faire en sorte que tout soit fait pour définir au mieux le besoin du client afin de le satisfaire.

3.1.2 Industrialisation d'un produit

Définition

Conception

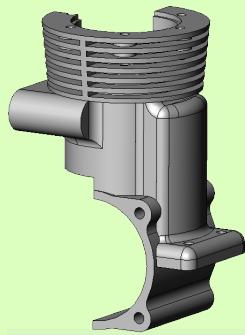
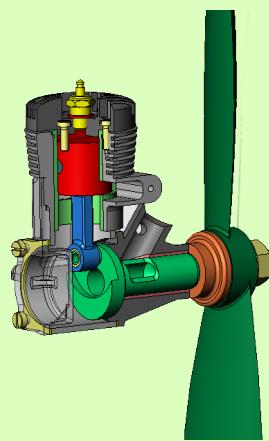
La conception désigne l'ensemble des travaux et des études mise en œuvres en vu de la réalisation d'un produit conforme aux exigences énoncées.

Conception assistée par ordinateur (CAO)

La CAO permet de réaliser virtuellement les produits à fabriquer. Il peut s'agir de conception mécanique (conception de pièces unitaires puis d'assemblages), de conception électronique (conception de circuits imprimés), de conception architecturale etc.

Exemple

CAO – Solidworks – Moteur de modélisme

Exemple*Carter de moteur de modélisme (vue coupée)**Micromoteur de modélisme (vue coupée)***Remarque**

Dans l'industrie, la conception totale d'un produit est relativement rare. Les nouveaux produits fabriqués sont souvent des évolutions de produits existants.

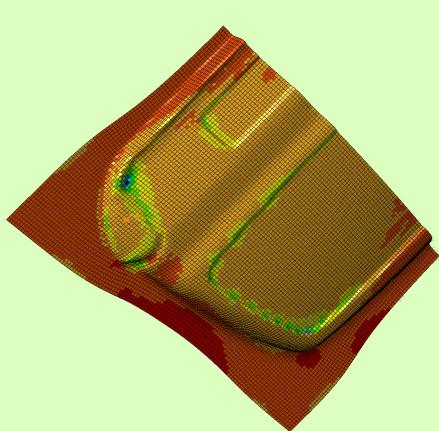
Définition**Simulation**

Afin de valider le choix des composants d'un système ainsi que leur bon dimensionnement, il est nécessaire de faire des essais. Devant la complexité et le coût de réalisation des essais, les ingénieurs ou les chercheurs utilisent des outils permettant de modéliser grâce à des logiciels le comportement réel des systèmes.

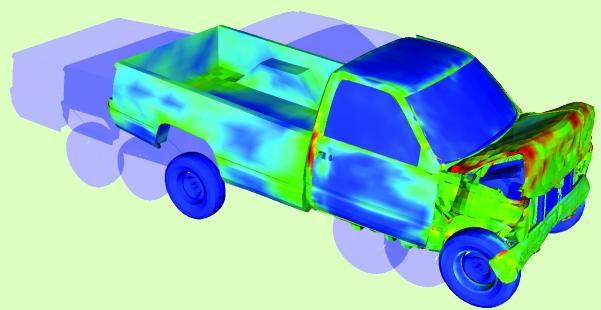
La simulation permet donc de vérifier le comportement d'un système sans faire d'expérimentation.

Problématique

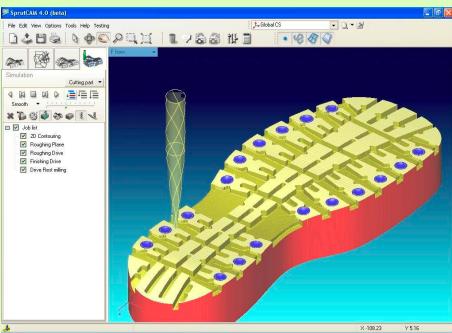
Le bon résultat d'une simulation dépend étroitement de la qualité des modèles. Or il est parfois très difficile de modéliser les systèmes complexes. Il faut systématiquement garder un esprit critique vis-à-vis des logiciels de simulation.



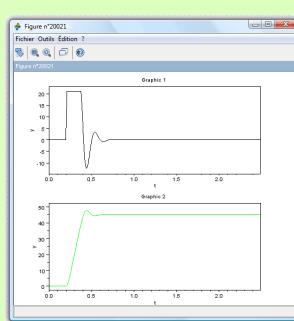
Simulation d'une opération d'emboutissage[12]



Simulation d'un crash par éléments finis[14]



Simulation d'une opération de Fabrication Assistée par Ordinateur[13]

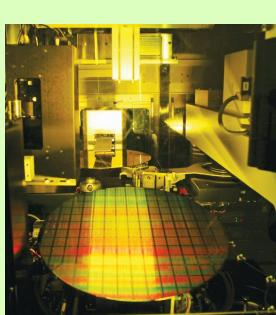


Simulation multiphysique avec Scilab-XCOS[15]

Exemple

Réalisation

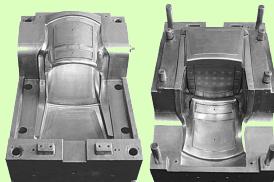
La réalisation comprend toutes les étapes permettant l'extraction de la matière première jusqu'à l'assemblage des parties mécaniques et électroniques.



Chaîne de fabrication d'un Wafer de Silicium[16]



Centre d'usinage 5 axes[17]



Moule d'injection plastique d'une chaise en ABS[18]



Assemblage d'un satellite[19]

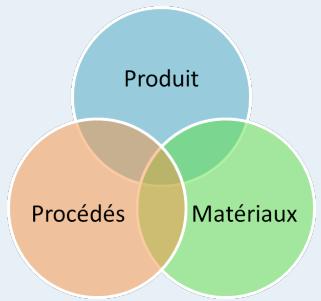
Définition

Exemple

Remarque

Le triptyque Produit – Procédé – Matériaux – PPM

Comme tout le cycle d'industrialisation d'un produit, sa réalisation n'est pas un processus linéaire, mais est un fruit de compromis. On abordera le triptyque que PPM qui met en évidence que les choix des formes d'un produit, de matériaux et de procédés résultent de discussion nombreuses entre les différents bureau d'étude d'une entreprise.



Définition

Intégration

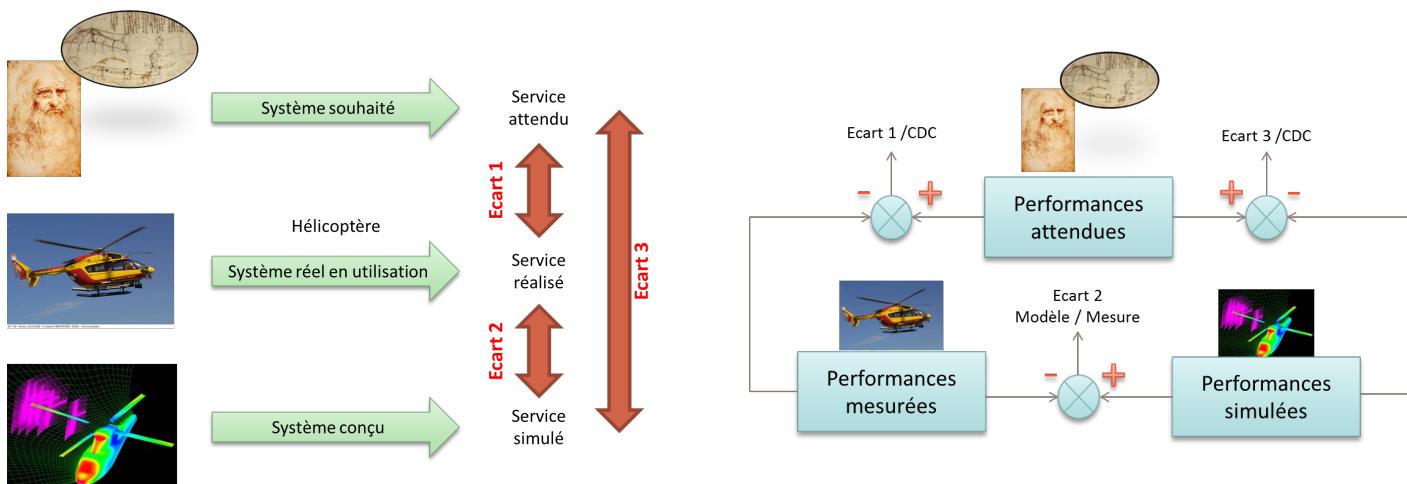
L'intégration comprend les étapes de développement logiciel à savoir la création de l'architecture logicielle, la programmation, le débogage, la mise en service du système et sa maintenance.

3.1.3 Performances d'un système

L'ensemble du processus industriel va faire naître des écarts :

- écarts entre les performances du produit imaginées par l'industriel et les performances du produit désiré par le client ;
- écarts entre les performances du produit conçu par le bureau d'étude et les performances du produit réalisé par l'atelier de fabrication ;
- écarts entre les simulations issues du bureau d'étude et les performances réelles du système ;
- entre les performances du produit commercialisé et les attentes du client.

Le but des Sciences Industrielles de l'Ingénieur (et des industriels) et de quantifier et maîtriser l'ensemble de ces écarts pour atteindre la satisfaction client la plus grande possible.



Modélisation des écarts

3.2 Nécessité de l'Ingénierie Systèmes

L'ensemble de ce qui a été énoncé précédemment touche du doigt les difficultés qui peuvent être liées à la réalisation d'un système. Aussi, il est nécessaire pour les entreprises de disposer de méthodes robustes pour faire en sorte que tous les acteurs participants à la réalisation d'un produit puissent **communiquer**. Les acteurs peuvent être les services marketing, le bureau d'étude, le bureau des méthodes, l'atelier de fabrication, les services commerciaux, financiers, innovations, clients, les diffuseurs, les réseaux de distribution...

Définition

Ingénierie Système [3]

Approche interdisciplinaire rassemblant tous les efforts techniques pour faire évoluer et vérifier un ensemble intégré de systèmes, de gens, de produits et de solutions de processus de manière équilibrée au fil du cycle de vie pour satisfaire aux besoins client.

3.3 La modélisation SysML

Définition

Langage SysML [5]

Le langage SysML a pour objectif de formaliser, de manière graphique et indépendante de l'outil logiciel, les spécifications disparates associées à un système technique complexe.

Il permet, entre autres, de spécifier, concevoir, définir et analyser la structure d'un système, identifier les performances, les limites, l'environnement et les relations avec l'extérieur. Il a donc avant tout un objectif de documentation de la modélisation adoptée et n'est donc pas une méthode d'étude, de réflexion ou de conception d'un produit industriel

Le modèle SysML doit être un outil 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 les différentes exigences.

Il peut être utilisé en phase de conception innovante, mais aussi en phase de reconception d'un produit déjà existant. Il facilitera ainsi les évolutions futures.

Historiquement, le langage SysML dérive de l'UML (*Unified Modeling Language*). L'UML est un langage de modélisation graphique utilisé lors du développements logiciels (en particulier lorsque les logiciels sont programmés en langage orienté Objet – *Python, JAVA, C++*). Pour cela 13 diagrammes différents sont utilisés répartis en 6 diagrammes structurels et 7 diagrammes comportementaux.

Les besoins de l'ingénierie système et de l'ingénierie logicielle n'étant pas complètement identiques, le SysML reprend des diagrammes issus directement de l'UML et intègre de nouveaux diagrammes propres à la modélisation des systèmes (diagramme des exigences et diagramme paramétrique).

[3]

SysML s'articule autour de neuf types de diagrammes, chacun d'eux étant dédié à la représentation des concepts particuliers d'un système. Ces types de diagrammes sont répartis par l'OMG en trois grands groupes :

- quatre diagrammes comportementaux :

1. diagramme d'activité (montre l'enchaînement des actions et décisions au sein d'une activité complexe) ;
2. diagramme de séquence (montre la séquence verticale des messages passés entre blocs au sein d'une interaction) ;
3. diagramme d'états (montre les différents états et transitions possibles des blocs dynamiques) ;
4. diagramme de cas d'utilisation (montre les interactions fonctionnelles entre les acteurs et le système à l'étude) ;

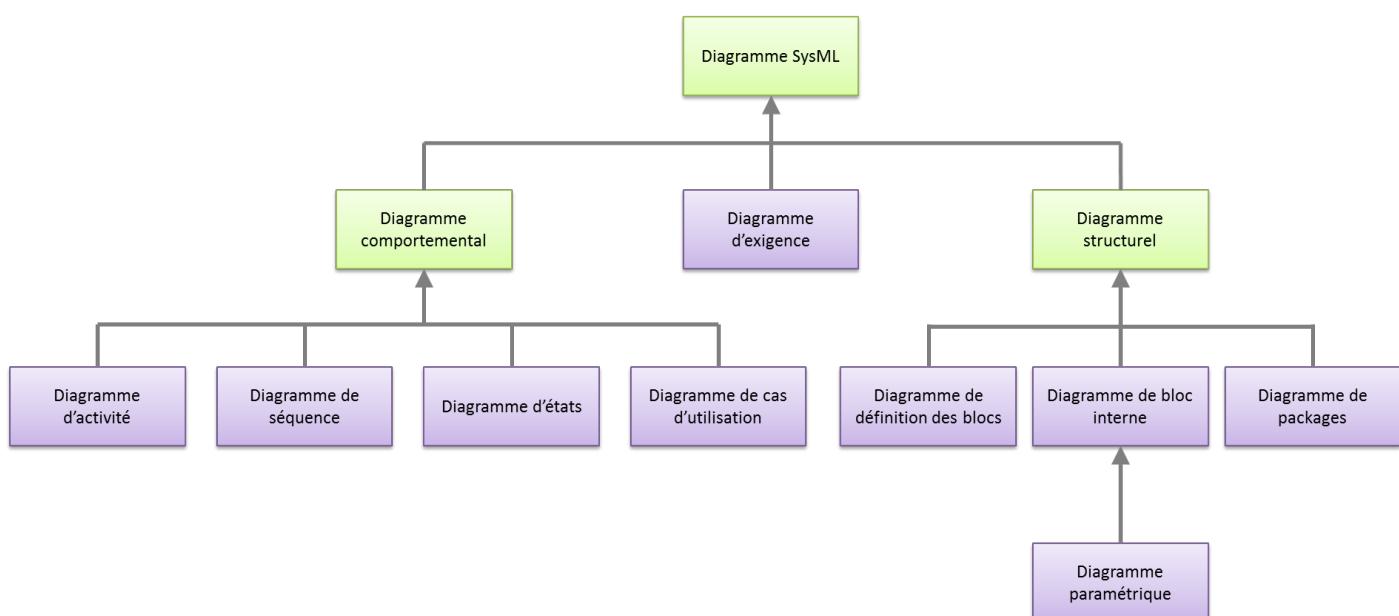
- un diagramme transverse : le diagramme d'exigences (montre les exigences du système et leurs relations) ;
- quatre diagrammes structurels :

1. diagramme de définition de blocs (montre les briques de base statiques : blocs, compositions, associations, attributs, opérations, généralisations, etc.) ;
2. diagramme de bloc interne (montre l'organisation interne d'un élément statique complexe) ;
3. diagramme paramétrique (représente les contraintes du système, les équations qui le régissent) ;
4. diagramme de packages (montre l'organisation logique du modèle et les relations entre packages).

4 La modélisation SysML [5]

Les différents diagrammes SysML seront vus en détail dans un autre document. Le but de cette partie est de présenter succinctement chacun des diagrammes.

On s'intéresse ici à la modélisation SysML d'un drone multi-rotors utilisé pour la prise de vue aérienne lors de la réalisation de films ou de reportages.



4.1 Diagramme des exigences

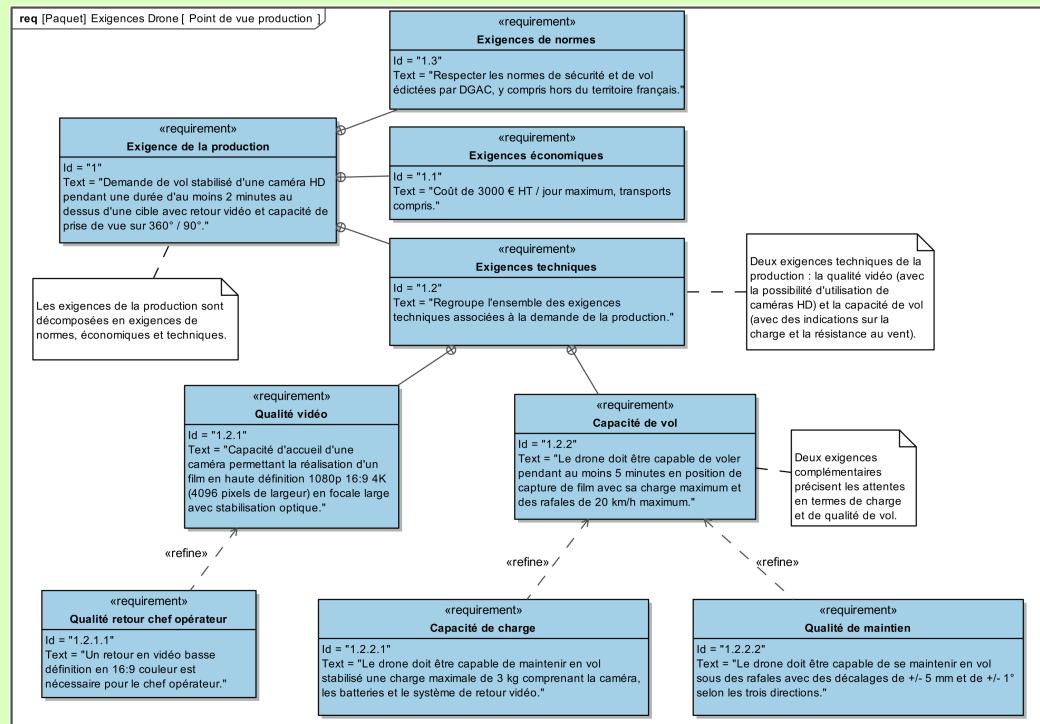
Définition

Diagramme des exigences – Requirement Diagram – req

L'objectif de ce diagramme est de modéliser les exigences devant être vérifiées par le système en liant les solutions mises en œuvre sur le système avec les besoins définis dans le cahier des charges. Ce diagramme traduit, par des fonctionnalités ou des contraintes, ce qui doit être satisfait par le système.

De nombreux domaines peuvent être couverts, les plus classiques étant les exigences environnementales, économiques, fonctionnelles ou techniques.

Exemple



4.2 Diagrammes comportementaux

4.2.1 Diagramme des cas d'utilisation

Définition

Diagramme des cas d'utilisation – Use Case Diagram – uc

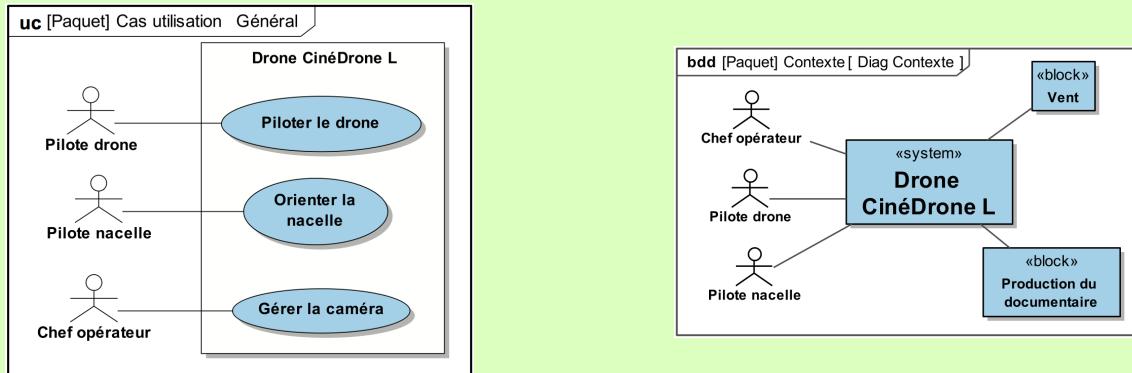
L'objectif de ce diagramme est de montrer les fonctionnalités offertes par un système en identifiant les services qu'il rend : il permet donc de modéliser les exigences selon un point de vue complémentaire à celui exposé par le diagramme des exigences.

L'énoncé d'un cas d'utilisation doit se faire hors technologie, puisque il est défini en termes de résultats attendus.

Diagramme de contexte

Le diagramme de contexte est une extension non normalisée du langage SysML qui permet de définir les frontières de l'étude et la phase du cycle de vie dans laquelle on situe l'étude (il s'agit généralement de la phase d'utilisation normale du système).

Ce diagramme permet de préciser, si possible de manière exhaustive, les acteurs et éléments environnants au système étudié. Il permet également de faire apparaître les différents acteurs ou éléments intervenant dans une exigence.

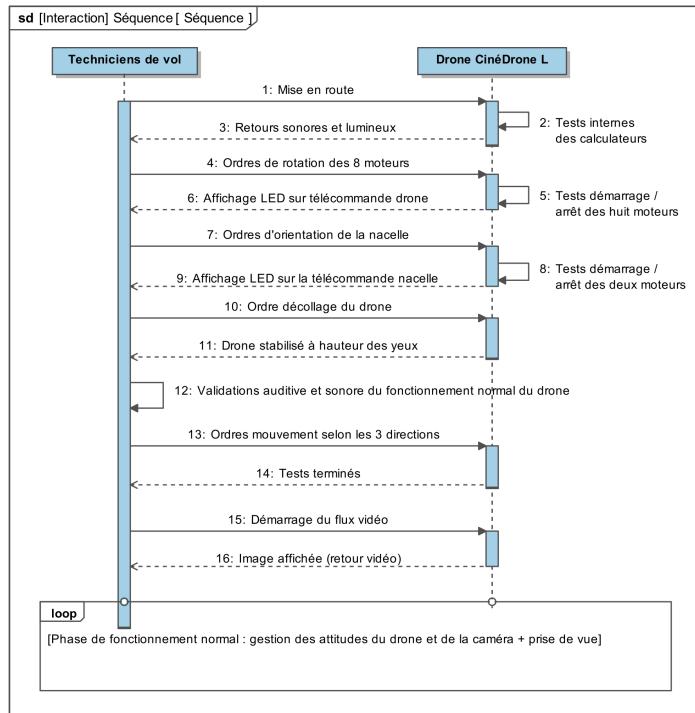


4.2.2 Diagramme de séquence

Diagramme de séquence – Sequence Diagram – seq

L'objectif de ce diagramme est de décrire les interactions existant entre plusieurs entités, celles-ci pouvant être des acteurs, le système ou ses sous-systèmes. Le diagramme ne montre donc que l'enchaînement séquentiel des différentes interactions.

Un diagramme de séquence est rattaché à un cas d'utilisation et décrit ce dernier en entier ou en partie, ce qui correspond à un scénario de fonctionnement possible, défini dans un cadre précis : il peut donc aboutir tout aussi bien à des évolutions positives (fonctionnement normal) ou négatives (gestion des problèmes), en particulier dans la phase de démarrage avant le fonctionnement normal.



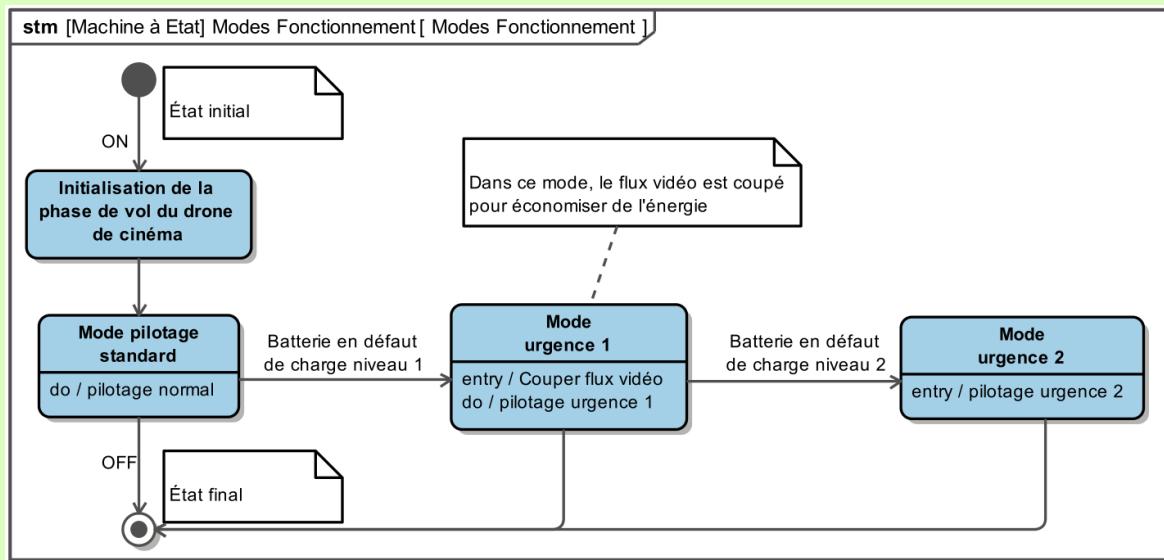
4.2.3 Diagramme d'états

Diagramme d'états – State Machine Diagram - stm

Le diagramme d'états est rattaché à un bloc qui peut être le système, un sous-système ou un composant. Le comportement décrit par ce type de diagramme sert à montrer les différents états pris par le bloc en fonction des évènements qui lui arrivent.

Un état représente une situation d'une durée finie durant laquelle un système exécute une activité, satisfait à une certaine condition ou bien est en attente d'un événement. Le passage d'un état à un autre se fait en franchissant une transition.

Exemple



4.2.4 Diagramme d'activité

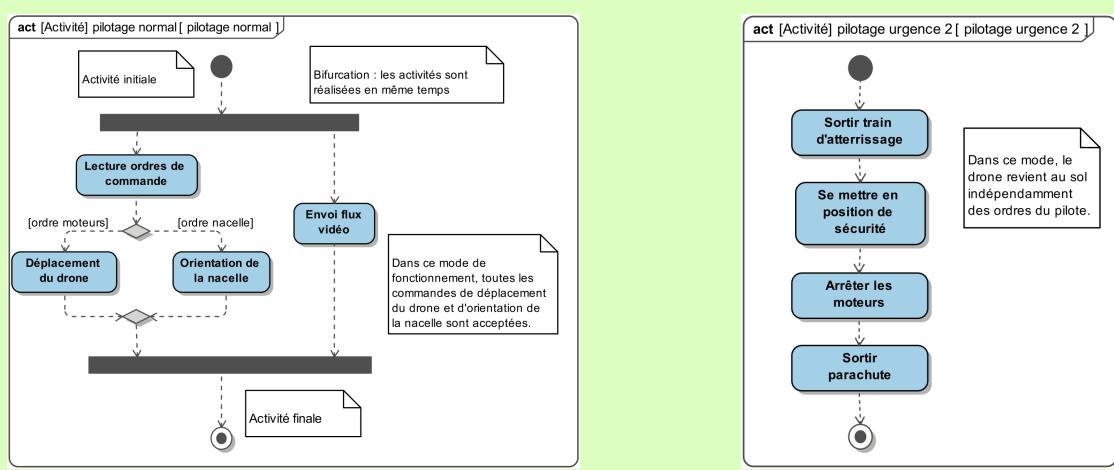
Définition

Diagramme d'activité – *Activity Diagram – act*

Ce diagramme permet de représenter le déroulement d'un processus sous la forme d'une activité correspondant à une décomposition séquentielle d'actions, aussi appelées tâches.

Dans sa forme la plus restreinte, ce diagramme représente un algorigramme, c'est-à-dire un flux de contrôle (ce flux n'a rien à voir avec ceux présents dans le diagramme de blocs internes : il ne faut donc pas les confondre).

Exemple



4.3 Diagrammes structurels

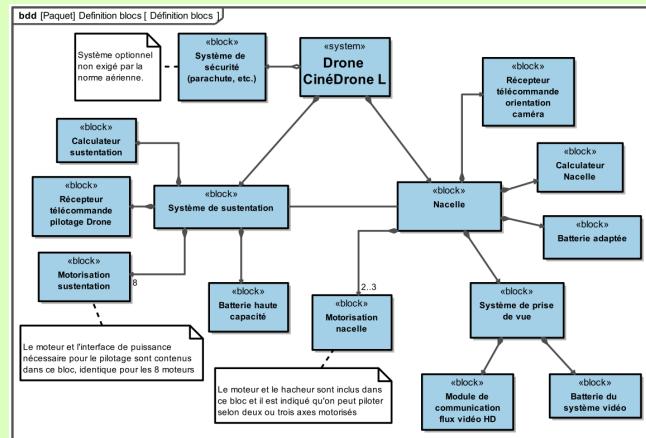
4.3.1 Diagramme de définition des blocs

Définition

Diagramme de définition des blocs – Block Definition Diagram - bdd L'objectif de ce diagramme est de décrire le système via des blocs (blocks dans le langage SysML) et représentant des éléments matériels (cas le plus fréquent) mais également des entités abstraites (regroupement logique d'éléments) ou des logiciels.

Ce diagramme représente les caractéristiques principales de chaque bloc ainsi que les liens entre eux : il permet donc une modélisation de l'architecture du système.

Exemple



4.3.2 Diagramme de blocs internes

Définition

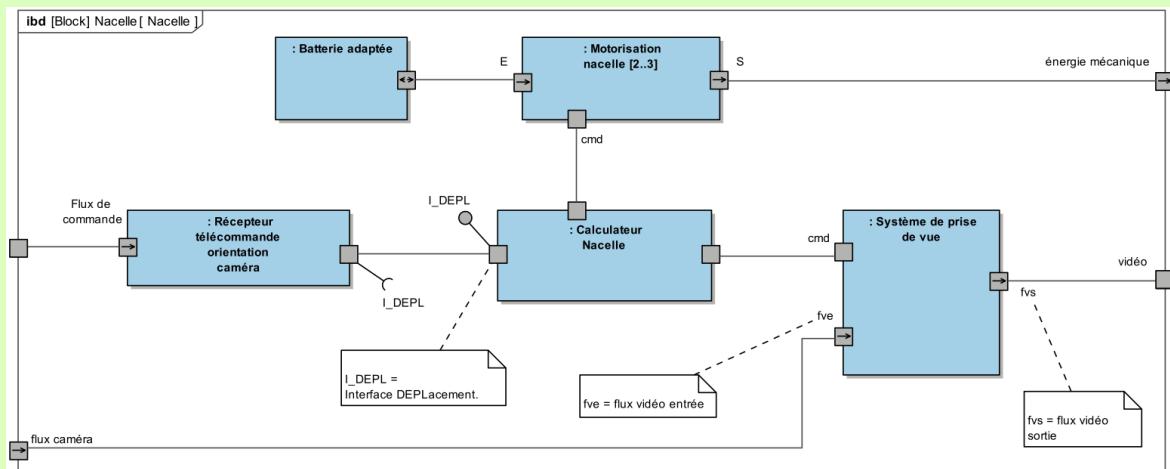
Diagramme de blocs internes – Internal Block Diagram – ibd

Le diagramme de blocs internes est rattaché à un bloc issu du diagramme de définition de blocs, le cadre du diagramme représentant la frontière d'un bloc.

Le diagramme de définition de blocs introduit la notion fondamentale de « port » qui correspond à un point d'interaction avec l'extérieur du bloc.

Les connecteurs (traits) entre les ports indiquent soit les associations soit les flux de matière, d'énergie et d'information entre les différents blocs.

Exemple



4.3.3 Diagramme de paramétriques

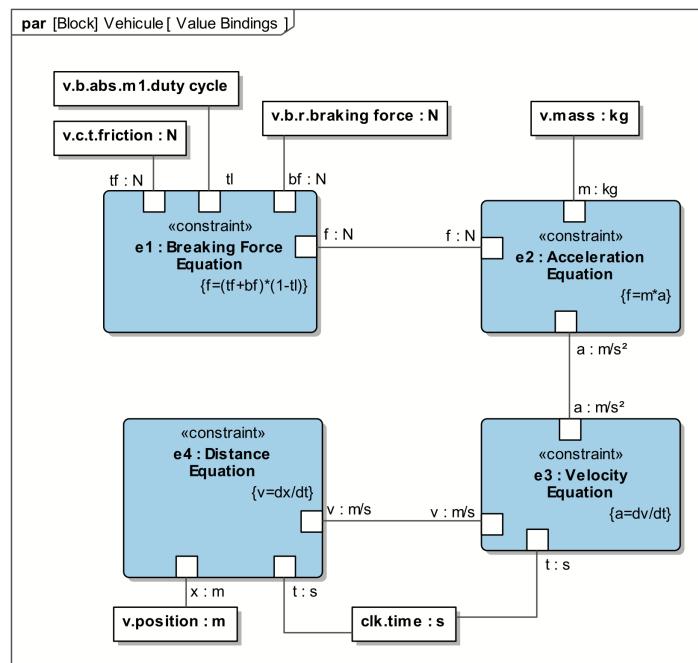
Définition

Diagramme paramétrique – *Parametric Diagram – par*

Ce diagramme est une extension du diagramme de définition de blocs. Il partage donc les mêmes éléments graphiques.

Il présente la particularité de pouvoir connecter entre elles des contraintes ajoutées au diagramme de blocs par le biais d'un bloc particulier, dit « de contraintes » (constraint block) qui contient des paramètres et une relation, en général mathématique, les reliant.

Diagramme tiré du tutoriel SusML de l'OMG



4.3.4 Diagramme de paquetages

Définition

Diagramme de paquetages – Package Diagram – pkg

L'objectif de ce diagramme est de créer des « macros-associations » de concepts ou d'éléments afin de relier différentes parties d'un même modèle.

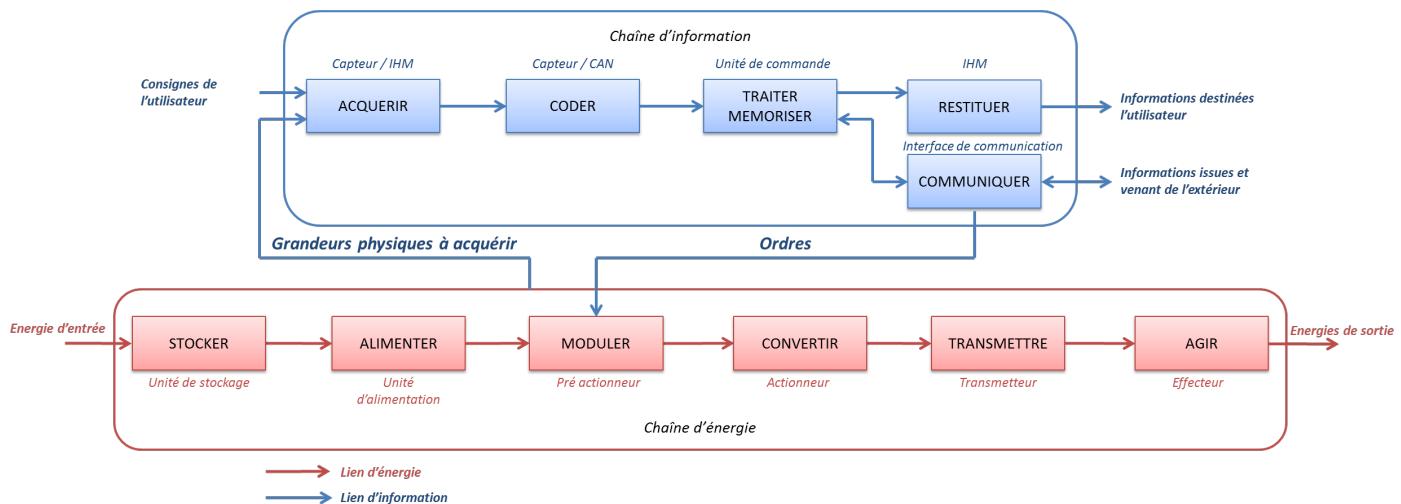
Ce diagramme n'apparaît pas explicitement dans le programme des CPGE : il est donc donné uniquement à titre d'information.

5 Architecture fonctionnelles des systèmes

5.1 Chaîne fonctionnelle

L'avantage de la modélisation SysML est la liberté que le concepteur peut avoir pour décrire un système. L'inconvénient pour un élève en phase d'analyse d'un système est qu'il ne sache pas par quel angle appréhender le système.

La chaîne fonctionnelle permet de fournir une première grille de lecture pour analyser un système complexe. Elle ne peut pas être la solution pour décrire parfaitement tous les systèmes, mais elle doit être un outil permettant de faire un bilan des macro fonctions qu'il est possible de réaliser.



Chacune des fonctions peut être présente ou absente sur le système. Dans le cas où la fonction est présente, elle peut être assuré par un ou plusieurs composants.

Définition

Lien d'information

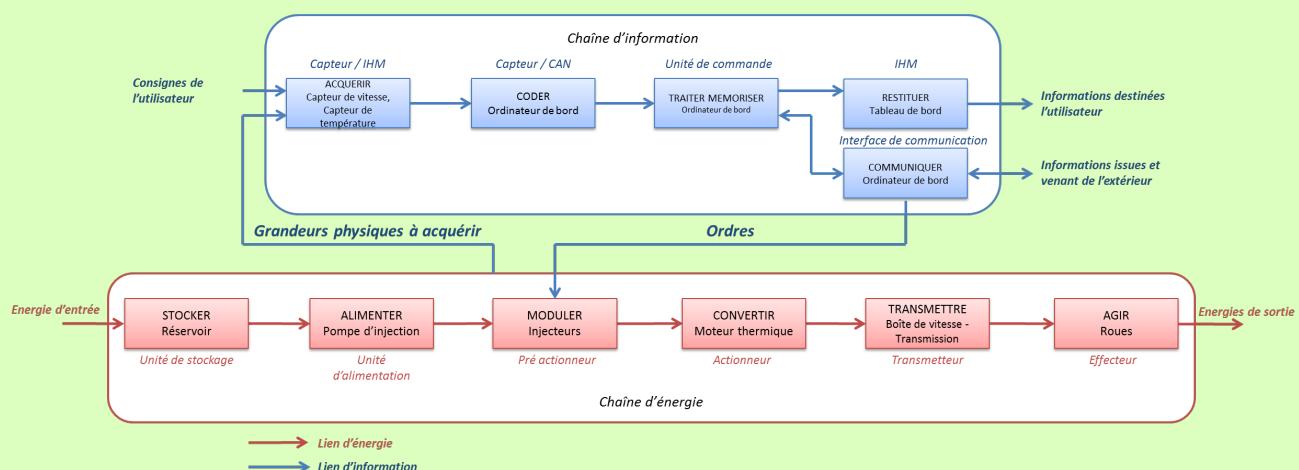
Un lien d'information véhicule une information de type électrique (en V).

Lien de puissance (ou d'énergie)

Un lien de puissance véhicule une grandeur de type **effort** et une grandeur de type **flux**. Le produit de ces deux grandeurs est une puissance.

Domaine	Effort	Flux
Électrotechnique	Tension (U en V)	Courant (I en A)
Mécanique de translation	Force (F en N)	Vitesse (V en m/s)
Mécanique de rotation	Couple (C en Nm)	Fréquence de rotation (ω en rad/s)
Hydraulique – Pneumatique	Pression (P en Pa)	Débit volumique (q en m^3/s)
Thermique	Température (T en $^{\circ}C$)	Flux d'entropie (Q_S en $W/^{\circ}C$)

Chaîne fonctionnelle d'un véhicule



Références

- [1] Concept car Peugeot EX1. <http://www.peugeot.fr/media/showrooms/showroom-peugeot-ex1-concept-car-medias/img/extergrand.jpg>.
- [2] Norme NF EN 1325-1 (Anciennement NF X50-150), Vocabulaire du Management de la Valeur, de l'Analyse de la Valeur et de l'Analyse Fonctionnelle. Partie 1 : Analyse de la Valeur et de l'Analyse Fonctionnelle.
- [3] Pascal Roques, SysML par l'exemple – Un langage de modélisation pour systèmes complexes. Éditions Eyrolles, 2009.

- [4] Pierre Debout, SII – Analyse Externe des systèmes.
- [5] A. Caignot, V. Crespel, M. Déruméaux, C. Garreau, P. Kaszynski, B. Martin & S. Roux. Sciences Industrielles de l'Ingénieur – MPSI – PCSI – PTSI.
- [6] <http://reload4btech.blogspot.fr/2012/06/phillips-flexible-oled-fluid-smartphone.html>
- [7] <http://projets-architecte-urbanisme.fr/images-archi/2013/03/pont-bacalan-chaban-delmas.jpg>
- [8] <http://www.vibramfivefingers.it/images/products/FFSKSAAYM.jpg>
- [9] <http://www.univ-paris-diderot.fr/sc/site.php?bc=accueil&np=pageActu&ref=3658>
- [10] <http://www.segway.fr/particuliers/gyropodes/x2.htm>
- [11] <http://www.nerdpix.com/design/un-velo-electrique-vraiment-moderne/>
- [12] <http://www.esi-group.com/corporate/news-media/press-releases/2007-french-pr/archives/esi-group-annonce-pam-tfa-pour-catia-v5-une-nouvelle-solution-pam-stamp>
- [13] <http://www.directindustry.fr/prod/sprut-technology-inc/logiciels-de-simulation-d-usinage-.html>
- [14] <http://www.mscsoftware.com/fr/application/simulation-numerique-multidisciplinaire>
- [15] <http://www.demosciences.fr/projets/scilab-xcos/utilisation/pour-aller-plus-loin>
- [16] http://www.erenumerique.fr/technologie_dessine_moi_un_capteur_d-image-article-4943-2.html
- [17] <http://www.machine-outil.info/t325-bridage-usinage-serrage-usinage/a4590-un-etau-specifique-pour-machine-5-axes-chez-norelem.html>
- [18] http://french.plastic-injectionmould.com/china-oem_lkm_pretreat_single_cavity_custom_plastic_injection_molding_for_pc_abs_plastic_chair-212008.html
- [19] <http://www.astrium-geo.com/fr/2834-decembre-2011-spot-6-couplage-de-linstrument-a-la-plateforme>