

INTRODUCTION : CONCEVOIR UN PRODUIT AUJOURD'HUI

Date : 19 décembre 2022

Auteur(s) : Benoît Eynard, Matthieu Bricogne

Copyright : B. Eynard, M. Bricogne, université de technologie de Compiègne

Licence : CC 4.0 BY-NC-SA [<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.fr>] + licence commerciale ET-LIOS [<https://et-lios.s-mart.fr/licencecommerciale/>]

Table des matières

Introduction	3
1. Les grandes tendances liées à la conception de produits	4
1.1. Un éclairage macroscopique sur l'évolution des produits	4
1.2. L'intégration physique	5
1.3. L'intégration fonctionnelle	5
1.4. La dématérialisation	6
1.5. L'intégration de la connectivité	7
2. Les produits multidisciplinaires	9
2.1. La mécatronique	9
2.2. Les produits intelligents	9
2.3. Les systèmes cyber-physiques	9
2.4. En synthèse : parler de systèmes multidisciplinaires	10
2.5. Besoin d'expertises, pas de silos !	10
3. Et ET-LIOS dans tout ça ?	13
3.1. <ET-LIOS> Module E	13
Bibliographie	16

Introduction

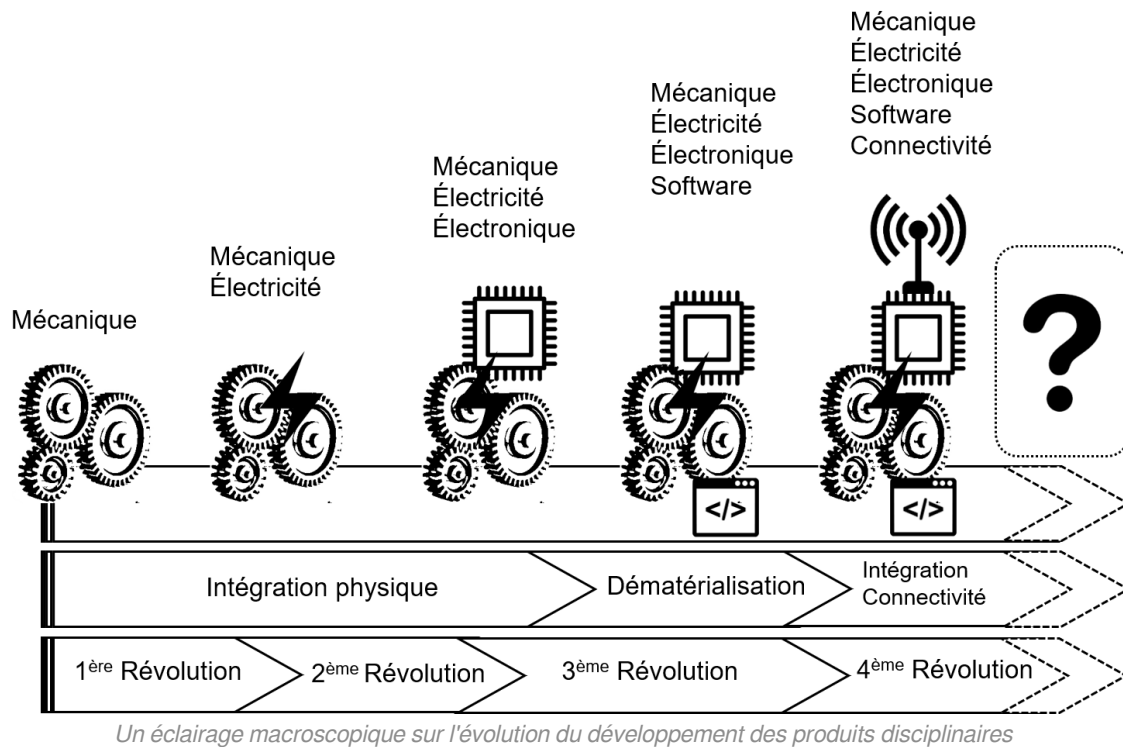
Objectifs pédagogiques : Comprendre les grands enjeux de la conception de système

Comprendre les grandes tendances liées à l'évolution des produits

Appréhender les difficultés engendrées par la conception de systèmes multidisciplinaires

1. Les grandes tendances liées à la conception de produits

1.1. Un éclairage macroscopique sur l'évolution des produits



Cette figure présente de manière synthétique un éclairage de l'évolution technologique des produits en parallèle de l'apparition des technologies en elles-mêmes ayant mené aux révolutions industrielles et aux ères subséquentes (Thèse Julia Guérineau^[p.16]). Ainsi, nous distinguons majoritairement trois « ères ». La première est l'**ère matérielle** et traduit l'idée de produits se basant sur la mécanique, l'électricité ou encore l'électronique.

L'apparition du logiciel et de l'informatique a offert de nouvelles possibilités pour le développement de produits innovants et la réalisation des fonctions menant à l'**ère du logiciel** (dématérialisation).

Enfin, le développement des infrastructures réseaux et d'Internet, sa propagation aux objets de la vie courante et aux moyens industriels, le développement de nouvelles technologies de connectivité ont démocratisé cette dernière.

La conjonction de ces technologies avec le numérique, qui s'inscrit dans la continuité de l'ère précédente, nous permet de statuer que nous sommes actuellement au cœur de l'**ère du numérique et de la connectivité**.

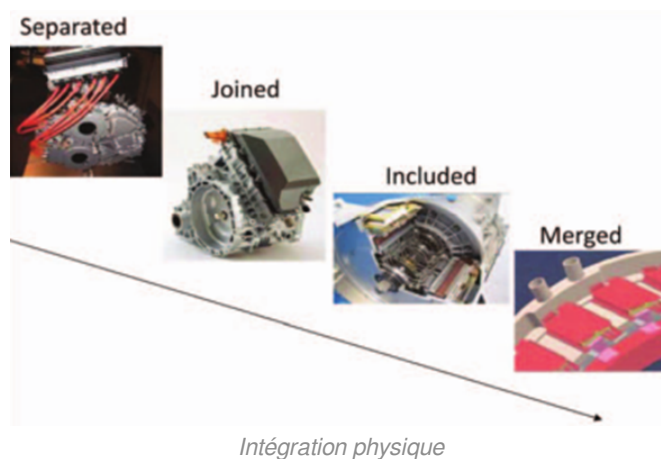
Pour aller plus loin

Jusqu'à peu, le développement de systèmes se résumait à rendre le produit le plus attractif possible,

souvent en y intégrant le maximum de technologies, en se fixant un cadre en termes de coût, qualité et délais de mise sur le marché.

Aujourd'hui, des travaux de recherche tentent de combler le fossé entre les méthodes de conception des produits « traditionnelles » et l'acceptation par les consommateurs de produits fonctionnels, mais plus simples et plus durables, afin de rendre ces produits plus compatibles avec les objectifs écologiques liés aux limites planétaires. Ces travaux^[p.16], qui s'apparentent au *Design for Sustainability*^{[https://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_the_Environment]}, cherchent à prendre en considération les impacts liés à la façon de concevoir, produire, consommer et jeter les produits. Ils ne sont pas abordés explicitement dans ce module, mais restent au cœur des préoccupations des auteurs de ce module et des mentions relatives à ces travaux sont faits dans certains contenus.

1.2. L'intégration physique



Un type d'intégration relative au produit conçu est l'intégration spatiale. Également appelée intégration physique, cette intégration vise généralement à réduire l'encombrement et la masse du système. La figure ci-dessus illustre grâce à un alternateur-démarrreur les différents niveaux d'intégration possibles, allant jusqu'à la fusion des différents éléments matériels (*hardware*) du système.

Ce type d'intégration touche les disciplines mécanique, électrique et électronique.

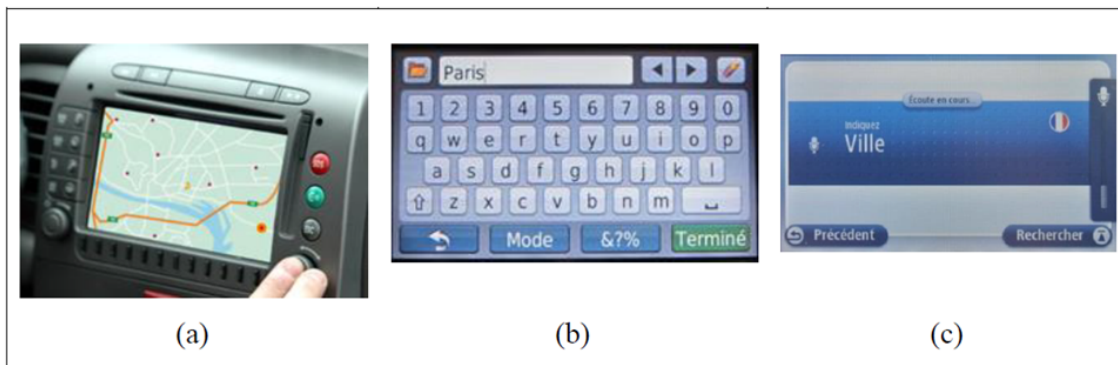
Les composants mécaniques et électriques sont fortement imbriqués et deviennent même parfois le « packaging » de l'électronique. Ce type d'intégration induit de nouvelles difficultés avec des phénomènes de couplages, faibles et forts.

1.3. L'intégration fonctionnelle



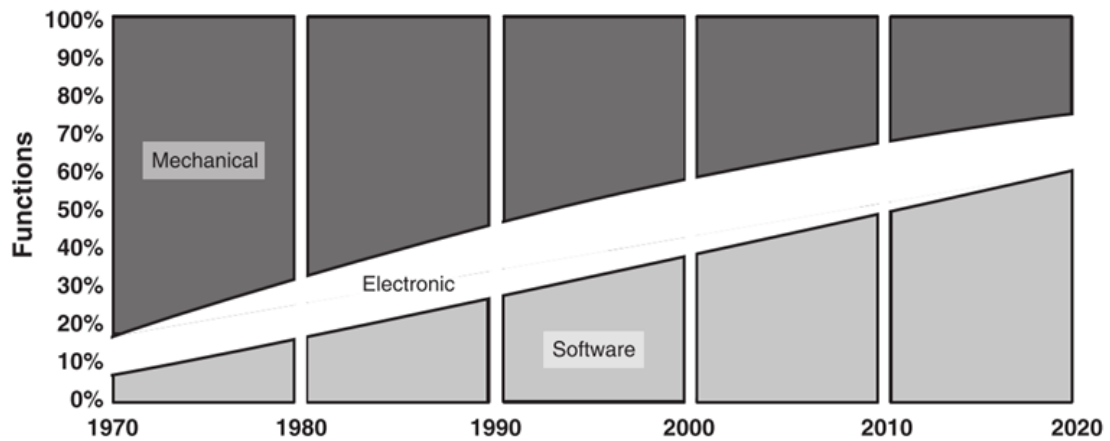
L'intégration fonctionnelle correspond à l'agrégation de fonctions au sein d'un même produit et est illustrée par la figure ci-dessus. Elle présente l'évolution d'un téléphone portable auquel de nombreuses fonctionnalités ont été ajoutées, telles que la gestion de l'agenda, des contacts et des courriels, la prise de photo, la navigation par GPS, le paiement sans contact, etc.

1.4. La dématérialisation



Dématérialisation

La dématérialisation est une forme d'intégration fonctionnelle. Elle correspond au remplacement de fonctionnalités jusqu'alors assurées par des composants physiques par de nouvelles fonctions logicielles. Nous illustrons ici cette dématérialisation par le choix de différentes solutions pour remplir la fonction de saisie d'adresse sur un GPS automobile : sur la figure ci-dessus, l'interface purement mécanique (a) est remplacée par un clavier tactile (b) puis par une dictée vocale (c).



Évolution du concept de la mécatronique repris par (Bricogne et al., 2016)

Cette dématérialisation est une tendance qui ne fait que croître depuis les années 70. La figure ci-dessus illustre cette part grandissante des composants logiciels au détriment des composants matériels. Cette tendance s'est développée sous l'ère du logiciel.

1.5. L'intégration de la connectivité

Il existe une multitude de technologies permettant d'assurer la connectivité d'un système.

Sans être exhaustif, voici quelques normes ou technologies ayant chacune leurs spécificités en termes de portée, débit ou consommation énergétique :

- Bluetooth 4.2 & 5.0 (BLE)
- WiFi
- WiMax
- Lora
- Sigfox
- ZigBee
- RFID
- NFC
- Weightless (Weightless-W, Weightless-N, Weightless-P)
- DASH7 Alliance Protocol (D7A)
- Réseau mobile : 2G / 2.5G / 2.75G / 3G / 4G (4G+) et 5G



Exemple de normes ou technologies apparues à l'ère de la connectivité (mis à jour en 2020)

Cette connectivité, parfois qualifiée d'ubiquitaire, permet l'amélioration des performances du produit, notamment car cela rend possible des traitements de l'information déportés. Bien au-delà de l'aspect « gadget » qui est prêté à certains produits connectés de grande consommation, ce sont les apports croisés du numérique et de la connectivité qui transforment les produits et leur environnement, leur développement, les modèles économiques associés, mais aussi leur production ou leur recyclage.

2. Les produits multidisciplinaires

2.1. La mécatronique

L'introduction des produits mécatroniques résulte d'une demande croissante de plus de performance, de flexibilité et de fiabilité dans les produits électromécaniques. Les gains ont été réalisés grâce à la mise en œuvre et l'intégration de nouvelles disciplines (principalement électronique, automatique et informatique).

Ainsi, le concept initial de mécatronique a évolué à partir des années 1970 pour prendre en considération de façon de plus en plus large l'automatique et l'informatique. La mécatronique traduit la recherche d'une synergie entre la mécanique, l'électronique/électricité, l'automatique et l'informatique.

2.2. Les produits intelligents

Les « produits intelligents » ou « **smart products** » sont probablement les appellations les plus connues du grand public par leur usage répandu pour caractériser divers produits de grande consommation actuellement commercialisés. Ils sont des objets de la vie courante ayant été « augmentés » par des composants électroniques, électriques, mais également du logiciel et de la connectivité. Grâce à leurs capteurs et actionneurs, ils sont en mesure de percevoir et interagir avec leur environnement ou avec d'autres objets intelligents.

L'intelligence mentionnée peut également posséder deux facettes. L'intelligence peut être centrée sur le produit, avec l'objectif de rendre ce dernier autonome dans ses actions, parfois sans aucune intervention humaine ; ou à l'inverse, être centrée sur l'utilisateur en le rendant plus « intelligent » à travers sa responsabilisation et sa prise de décisions, pouvant être exécutée par le produit par la suite.

[Extraits du chapitre 2 de la thèse de Thèse Julia Guérineau^[p.16]]

2.3. Les systèmes cyber-physiques

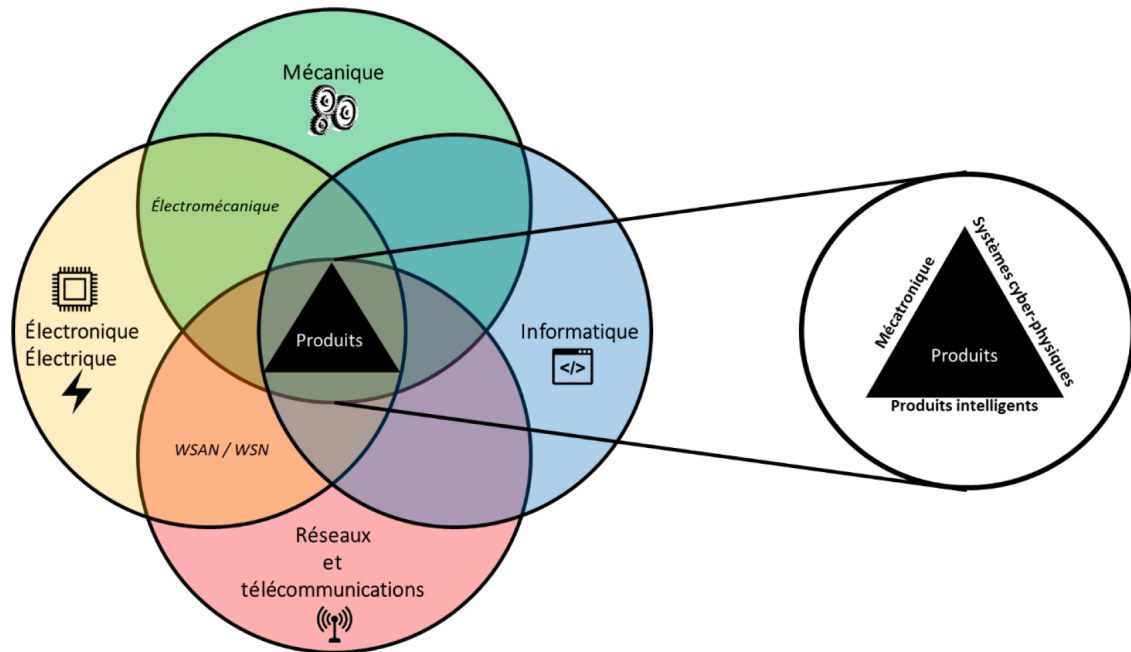
Les systèmes cyber-physiques (SCP), ou **Cyber Physical Products** (CPS), fait référence à l'intégration de capacités en traitement de l'information dans des systèmes physiques. En effet, le traitement de l'information (**computation**), la communication et le contrôle sont trois capacités fondamentales des CPS. Ils sont donc conceptualisés à travers l'idée d'un système virtuel, « **cyber** » composé des 3C, en lien étroit avec le monde physique et le contrôle de ses aspects dynamiques.

Les CPS sont voulus plus performants, résilients, flexibles, autonomes, extensibles – **scalable** – ou encore distribués et sont au final plus complexes à conceptualiser puis à concevoir.

[Extraits du chapitre 2 de la thèse de Thèse Julia Guérineau^[p.16]]

2.4. En synthèse : parler de systèmes multidisciplinaires

Que le système à concevoir soit qualifié de système mécatronique, de **Cyber Physical System** ou de système intelligent, il devra intégrer des capacités de captation d'informations liées à son environnement, d'interaction avec son environnement, de traitement des informations, de prise de décisions, de connexion à des infrastructures, de communication, de collaboration avec d'autres systèmes environnants, etc.



Systemes multidisciplinaires - Synthèse

2.5. Besoin d'expertises, pas de silos !

De nombreuses expertises nécessaires

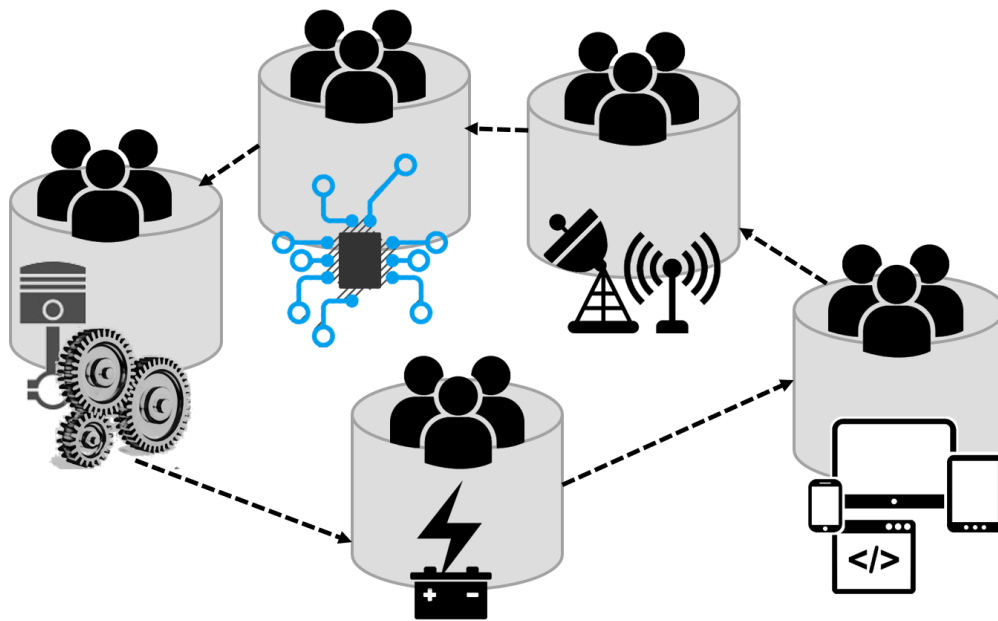
Pour réaliser les nombreuses fonctions d'un système pluritechnologique, de nombreuses expertises sont requises. Ces expertises sont généralement à la croisée d'un rôle dans l'entreprise (conception, industrialisation, production, qualité, etc.) et d'une discipline d'origine (mécanique, électrique, électronique, logiciel, etc.).

Act. d'ingénierie / Disciplines	Architecture système	Conception / Développement	Calculs / Tests	Méthodes / Industrialisation	Production	...
Electrique						
Electronique		X				
Logicielle						
Mécanique						
...						

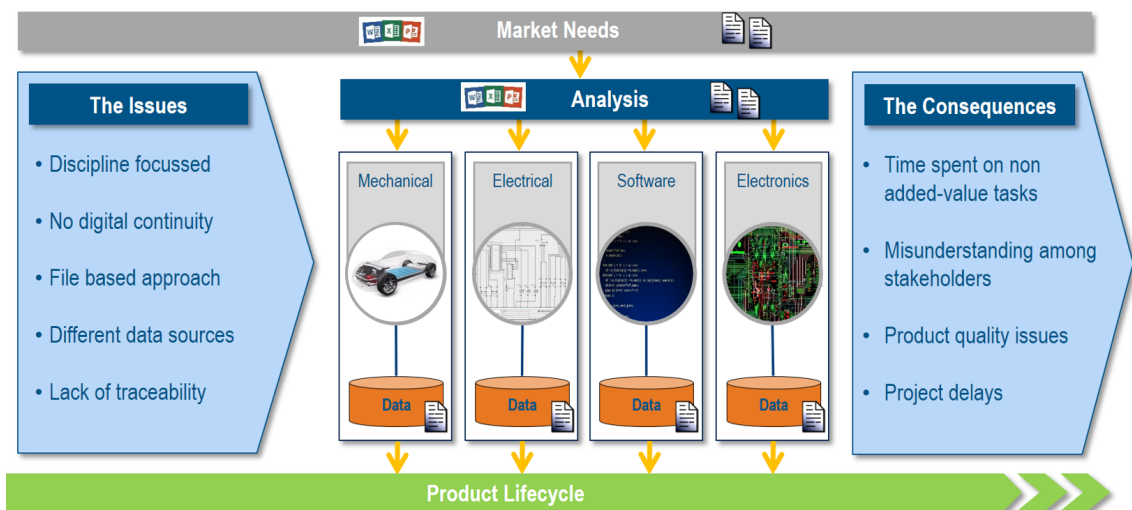
← chaque case correspond à une expertise

La collaboration entre ces expertises est rendue difficile par le défaut de compréhension des autres disciplines par un expert donné et par le manque de continuité numérique, les outils spécifiques utilisés qui possèdent leurs propres formats de données et qui sont peu interopérables, la logique de structuration de l'information qui est spécifique, etc.

On parle alors d'un fonctionnement en silos.



Les silos disciplinaires



Le fonctionnement en silos des expertises : problématiques et conséquences

3. Et ET-LIOS dans tout ça ?

3.1. <ET-LIOS> Module E

Génèse et objectifs du projet

Le projet <ET-LIOS> est porté par le groupement d'intérêt scientifique S.mart (ex AIP-PRIMECA – www.s.mart.fr). Le GIS S.mart fédère plus de 80 universités, établissements internes et composantes universitaires ainsi que des écoles d'ingénieurs publiques ou privées avec une ambition de porter au plan académique les thématiques de l'Industrie du Futur en formation, recherche et innovation.

Dans le cadre du projet proposé, l'ambition est de mutualiser les expériences acquises dans les différents pôles et établissements durant la période du Covid19 en matière de pédagogie à distance et de continuité des formations dans les domaines technologique et scientifique, en particulier pour les sujets de l'Industrie du Futur comme notamment : Conception-simulation-prototypage 3D ; Fabrication avancée et métrologie ; Système cyber-physique de production et eMaintenance ; Jumeau numérique et virtual commissioning des systèmes de production automatisée ; Systèmes intelligents et modélisation multiphysique ; Ingénierie soutenable et responsable.

Le projet ET-LIOS vise à développer et mettre au service des formations à caractère scientifique et technologique une infrastructure numérique en réseau de virtualisation de solutions logicielles et d'hébergement de contenus pédagogiques réalisés. Ces contenus sont structurés en modules thématiques répondant aux besoins de formation en matière d'Industrie du Futur avec un objectif de compréhension et maîtrise des technologies de manière compétitive et soutenable. Enfin, le projet s'appuie sur la dynamique et le réseau du GIS S.mart fédérant un très grand nombre des acteurs universitaires français proposant des diplômes dédiés à l'Industrie du Futur.

Objectifs du module E

Dans ce contexte de développement d'objets connectés, adaptatifs et intelligents, le concepteur intègre des fonctions, des structures et des comportements de nature sensorielle et motrice liées par une système de contrôle. La conception et la mise en oeuvre de ces composants complexes, légers et résistants, doués d'une « intelligence », capables d'effectuer des mesures et de réaliser des mouvements ou des adaptations de leur comportement, nécessitent de développer et mobiliser des compétences nouvelles. Ces compétences, liées à la conception multidisciplinaire visent notamment à :

- Analyser les exigences et/ou concevoir une architecture fonctionnelle grâce à l'ingénierie système
- Concevoir, dans une perspective d'intégration finale, les fonctions mécanique, électronique, informatique
- Modéliser et simuler lesdites fonctions dans un environnement permettant de forts couplages entre les physiques
- Réaliser des prototypes de composants ou de systèmes intelligents et/ou adaptatifs intégrant leurs fonctions, leurs structures et leurs comportements de nature sensorielle et motrice

Modalités pédagogiques

Ainsi, le module E abordera des sujets comme l'ingénierie système avec un focus sur le **Model Based Systems Engineering**, la simulation système (également appelée 0D/1D), mais également les phases de conception détaillée en électronique, électrique, contrôle/commande et en mécanique.

La logique principale des modalités pédagogiques est de privilégier les classes inversées et les exercices de mise en application à distance pour privilégier le présentiel pour le projet final de conceptions, simulations, réalisations.

Cas d'étude : le drone araignée

Afin de mieux appréhender les connaissances transmises dans le cadre de ce module et de pouvoir appliquer les compétences acquises, un cas fil rouge a été imaginé. Il s'agit d'un drone araignée hexapode.

Pourquoi le drone araignée ?

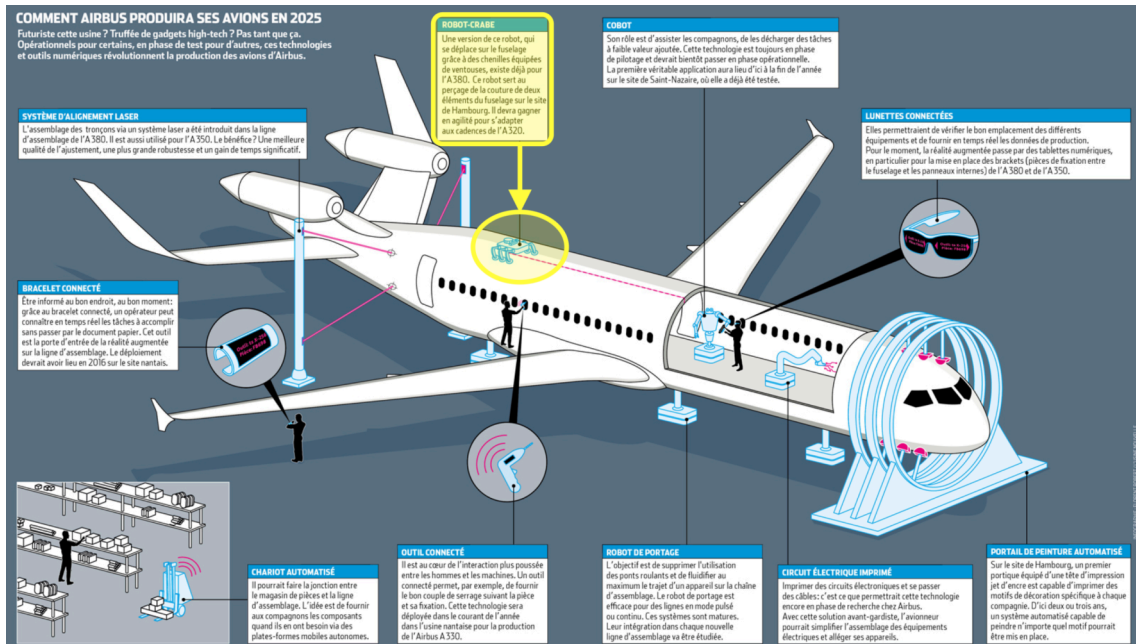
La problématique de l'inspection ou de la maintenance de grandes structures ou de structures 3D complexes réside parfois dans la difficulté d'accès à certains espaces ou encore dans la dangerosité de certaines opérations. Pour faciliter ces inspections, une solution robotisée a été imaginée. Il s'agit d'un drone terrestre grim pant, baptisé « Light Expert Examination Automated Arthropod » - LEEAA. Pour ce faire, une analyse fonctionnelle « traditionnelle » a été réalisée et un premier prototype a été conçu. Il s'agit d'un robot araignée hexapode.



Structure de base du drone araignée

L'objectif de ce drone est de faciliter les inspections et la maintenance de structures telles que des carlingues d'avion ou buildings vitrés.

Une potentielle utilisation du drone araignée est illustrée sur la figure ci-dessous.



Projet d'usine du futur : comment Airbus produira ses avions en 2025

Réglementaire

L'ensemble des travaux s'inspirent, reprennent ou s'appuient sur des réalisations d'étudiants impliqués dans différentes formations :

- aux Arts et Métiers, campus d'Aix en Provence, Mastère Spécialisé® « Créateur de solutions drones : usages innovants et technologies »
- à l'INSA de Lyon, département Génie Mécanique
- à l'IUT de Mantes
- à l'Université de Technologie de Compiègne, département Ingénierie Mécanique
 - module TN29 - « Outils de définition et de développement de systèmes »
 - module TX - « Travaux Expérimentaux »

Un grand merci pour leur implication !

Bibliographie

Projet D_TechnoSS	Projet D_TechnoSS - UTT ^[https://d-technoss.utt.fr/]
Thèse Julia Guérineau	Soutenue le 07/12/2021 à l'Université de Technologie de Compiègne et à l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal