
Exemple d'organisation de Cours, TD et TP en MPSI / PCSI

Hervé RIOU

Professeur S.I.I.

Lycée CHAPTAL Paris

Objectif de la formation de SII [Programme Officiel] :

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur permet d'aborder avec méthode et rigueur l'analyse de réalisations industrielles. Il a pour objectif de permettre aux étudiants d'analyser, de modéliser et de vérifier les performances de systèmes complexes industriels.

Cet enseignement participe à la formation de futurs ingénieurs.

Définition de l'ingénieur [CTI] :

Le métier d'ingénieur consiste à résoudre les problèmes de nature **technologique**, **concrets** et **complexes**, liés à la conception et à la mise en œuvre de systèmes ou de services. Cette aptitude résulte d'un ensemble de connaissances techniques d'une part, économiques, sociales et humaines d'autre part.

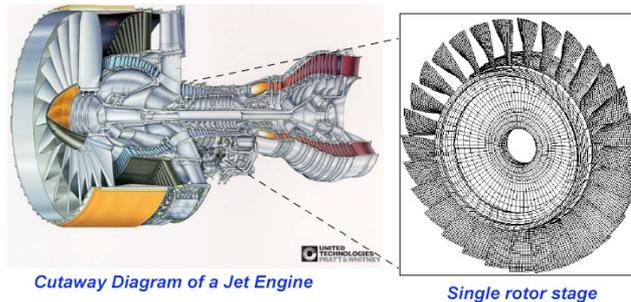
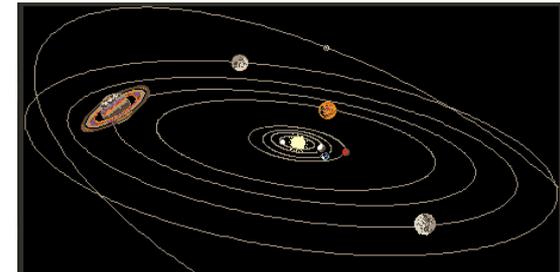
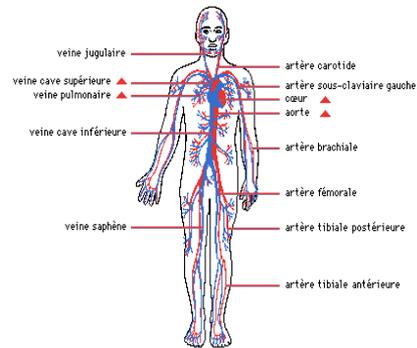
Définition système complexe :

Un système est un arrangement **d'éléments en interaction** organisés pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis.

Source : ISO/IEC 15288:2002(E)

La spécificité de l'enseignement des SII en CPGE, c'est l'étude des systèmes complexes.

Les systèmes complexes existent dans de nombreuses disciplines (système biologique, astronomique, industriel...)



Pour atteindre l'objectif, le programme décline les savoirs à transmettre et les compétences à développer...

SAVOIRS	
Etude des systèmes et communication technique	matière d'œuvre, valeur ajoutée, fonction, performance, nature matière d'œuvre
	domaine d'application, flux, critères technico-économiques
	cartes commande et opératives
	les transmetteurs de puissance (liés aux réducteurs et multiplicateurs, système vis-écrou, mécanismes plans à barres articulées) et les effecteurs (fonction, mobilité fonctionnelle d'une partie opérative)
SLCI	les actionneurs et préactionneurs (fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie)
	les capteurs (fonction, typologie des informations d'entrée et sortie)
	les commandes programmables (fonction)
	les interfaces de commande et de puissance (cartes E/S industrielles, contacteur et relais, variateur électronique de vitesse, distributeur pneumatique ou hydraulique, régulateur de débit ou pression) (fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie)
Cinématique	lecture de documents techniques
	FAST, SACT, cahier des charges fonctionnel
	le dessin technique et graphique assisté par ordinateur
	représentations en projections cylindriques et orthogonales
Chaîne de solides	schémas électriques, hydrauliques et pneumatiques
	définition d'un système asservi, chaîne directe, chaîne de retour, comparateur, écart,
	modification par équation différentielle, calcul symbolique
	modification par fonction de transfert, forme canonique, gain, ordre et classe, pôles et zéros
Statique	signaux d'entrée-impulsion, échelon, rampe et signal sinusoidal
	premier et second ordre, intégrateur, dérivateur
	transformation et réduction de schémas-blocs
	fonction de transfert en boucle ouverte et fermée
Systèmes combinatoires	réponse temporelle et rapidité
	réponse fréquentielle, diagrammes de Bode
	approximation linéaire tangente au voisinage d'un point de fonctionnement: modélisation et fonction de transfert
	modèle de connaissance et modèle de représentation
Systèmes séquentiels	torseurs: opérations invariantes, axe central, couple et glisseur
	référentiel, paramétrage, angles d'Euler, repère attaché à un référentiel, équivalence référentiel et solide indéformable
	dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel
	trajectoire, vitesse et accélération d'un point par rapport à un référentiel
Systèmes combinatoires	relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels
	vecteur-vitesse de rotation
	composition des vecteurs-vitesse et vecteurs-vitesse de rotation
	torseur distributeur des vitesses, équiprojectivité, axe instantané de vibration
Systèmes séquentiels	mouvements particuliers: rotation et translation
	problèmes plans: CIP, théorème des trois plans glissants
	géométrie générale des contacts entre solides, degrés de mobilité
	cinématique du contact entre solides: roulement, pivotement, glissement, condition cinématique de maintien de contact
Systèmes combinatoires	liaisons normalisées entre solides: caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés
	graphes de liaisons ou de structure
	schéma cinématique minimal, schéma d'architecture
	liaisons en série et en parallèle, liaisons cinématiquement équivalentes
Systèmes séquentiels	relations entre les vitesses issues de la fermeture cinématique
	cas particulier de la modélisation plane
	modélisations locales des actions mécaniques (à distance, de contact)
	lois de Coulomb, résistance au roulement et au pivotement
Systèmes combinatoires	modélisation globale, torseur associé
	action mécanique transmissible par une liaison sans frottement et liaisons normalisées
	cas de la modélisation plane
	principe fondamental de la statique, théorèmes généraux
Systèmes séquentiels	équilibre d'un ensemble de solides
	théorème des actions réciproques
	conditions d'équilibre pour les mécanismes présentant au moins une mobilité
	modèles avec frottement, arc-boutement
Systèmes combinatoires	codage de l'information, binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n
	algèbre de Boole, théorème de De Morgan
	opérateurs logiques fondamentaux
	fonctions logiques de deux variables
Systèmes séquentiels	table de vérité, table au de Karnaugh (4 variables max), simplification élémentaire: méthodes algébriques et de Karnaugh
	logigrammes
	réalisations câblées: pneumatiques, hydrauliques, électroniques, électro-mécaniques
	définitions d'un système séquentiel et de la fonction mémoire (auto-maintien)
Systèmes combinatoires	chronogramme
	GRAFCET: éléments de base (étape, liaison, transition), règles d'évolution, mode continu, structures de base (séquence unique, sélection de séquence, parallélisme structural), représentations des événements d'entrée (fronts)

Compétences	
Etude des systèmes et communication	situer le système industriel dans son domaine d'activité
	identifier les matières d'œuvre entrantes et sortantes
	préciser les caractéristiques de la valeur ajoutée par le système
	relever les performances et les comparer aux caractéristiques du dossier technique
SLCI	préciser et caractériser les éléments de structure (pôles, zéros, fonctionnaires, barres, fonctionnaires, partie opérative et partie commande)
	identifier les transmetteurs (réducteurs et multiplicateurs, systèmes vis-écrou, mécanismes plans à barres articulées)
	définir les grandeurs d'entrée et sortie
	identifier les actionneurs et préactionneurs
Cinématique	définir la nature des énergies d'entrée et de sortie
	identifier les capteurs
	définir la nature des informations d'entrée et de sortie
	identifier une commande programmable et la nature de ses entrées et sorties
Chaîne de solides	identifier les interfaces de commande et de puissance
	compléter une description fonctionnelle ou structurelle limitée à deux niveaux consécutifs
	mettre en correspondance les projections 2D et 3D
	prévoir les réponses temporelles et fréquentielles d'un premier ou second ordre
Statique	analyser ou établir le schéma fonctionnel d'un système asservi
	déterminer la fonction de transfert globale
	prévoir les performances en rapidité
	identifier à un modèle
Systèmes combinatoires	déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre
	déterminer la trajectoire d'un point d'un solide
	déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide
	proposer une modélisation des liaisons entre solides avec caractéristiques géométriques
Systèmes séquentiels	réaliser un graphe de structure
	réaliser un schéma cinématique et lui associer un paramétrage retenu
	écrire la loi entrée-sortie d'une chaîne simple fermée
	écrire les relations de fermeture cinématique
Systèmes combinatoires	paramétrer géométriquement un système mécanique
	choisir la méthode et conduire le calcul jusqu'à la détermination complète des inconnues de liaison
	choisir la méthode et conduire le calcul pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (ex: arc-boutement)
	exploiter et interpréter les résultats d'un logiciel de calcul
Systèmes séquentiels	exprimer le fonctionnement par un ensemble d'équations logiques
	optimiser la représentation logique en vue de sa réalisation par simplification (méthode de Karnaugh)
	optimiser la représentation logique en vue de sa réalisation par utilisation d'opérateurs (NON-ET, OU exclusif, identité)
	optimiser la représentation logique en vue de sa réalisation par application des théorèmes de De Morgan
Systèmes combinatoires	analyser le comportement attendu
	exprimer le comportement attendu au moyen d'une représentation adaptée (équations, équations logiques, schémas à contact, logigramme)
	réaliser les fonctions logiques (à partir de composants pneumatiques ou électroniques)
	tester la réalisation
Systèmes séquentiels	valider le comportement en conformité avec le cahier des charges
	décrire le fonctionnement à partir d'un besoin de mémorisation, d'un outil de représentation et d'une technologie de réalisation (relais, mémoire, ...)
	analyser et interpréter un GRAFCET vis-à-vis des 5 règles
	représenter tout ou partie d'une évolution temporelle consécutive à un événement d'entrée

Exemple :

Savoir (statique) : modélisation des actions mécaniques, action mécanique transmissible par une liaison.

Compétence (statique) : choisir la méthode et conduire le calcul jusqu'à la détermination complète des inconnues de liaison.

...et invite les professeurs à découper leur enseignement en cours, TD et TP

Objectifs des cours :

Transmettre les savoirs, de manière déductive ou inductive. Ils obéissent à une logique d'acquisition progressive et ordonnée des connaissances fondamentales. Ils permettent aussi de structurer les connaissances au travers de synthèses.

Objectifs des TDs :

Acquérir la maîtrise des outils. Ils prolongent le cours par des applications directes. Ils proposent des études dont la mise en situation est rapide. Ils peuvent préparer ou suivre des activités de TPs.

Objectifs des TPs :

Acquérir une opérationnalité dans la démarche ingénieur, c'est-à-dire développer les compétences nécessaires pour analyser et concevoir un système complexe. Ils permettent de consolider les connaissances et la maîtrise des outils vus en cours et en TDs. Ils permettent aussi de découvrir la réalité des solutions industrielles, et développer le sens de l'observation, de goût du concret et la prise d'initiative et de responsabilité.

...et invite les professeurs à découper leur enseignement en cours, TD et TP

Objectifs des cours :

Transmettre les savoirs, de manière déductive ou inductive. Ils obéissent à une logique d'acquisition progressive et ordonnée des connaissances fondamentales. Ils permettent aussi de structurer les connaissances au travers de synthèses.

Objectifs des TDs :

Acquérir la maîtrise des outils. Ils prolongent le cours par des applications directes. Ils proposent des études dont la mise en situation est rapide. Ils peuvent préparer ou suivre des activités de TPs.

Objectifs des TPs :

Acquérir une opérationnalité dans la démarche ingénieur, c'est-à-dire développer les compétences nécessaires pour analyser et concevoir un système complexe. Ils permettent de consolider les connaissances et la maîtrise des outils vus en cours et en TDs. Ils permettent aussi de découvrir la réalité des solutions industrielles, et développer le sens de l'observation, de goût du concret et la prise d'initiative et de responsabilité.

→ Bilan hiérarchique des activités : TP en numéro 1

Découper savoirs et compétences en TPs, c'est plus dur, car :

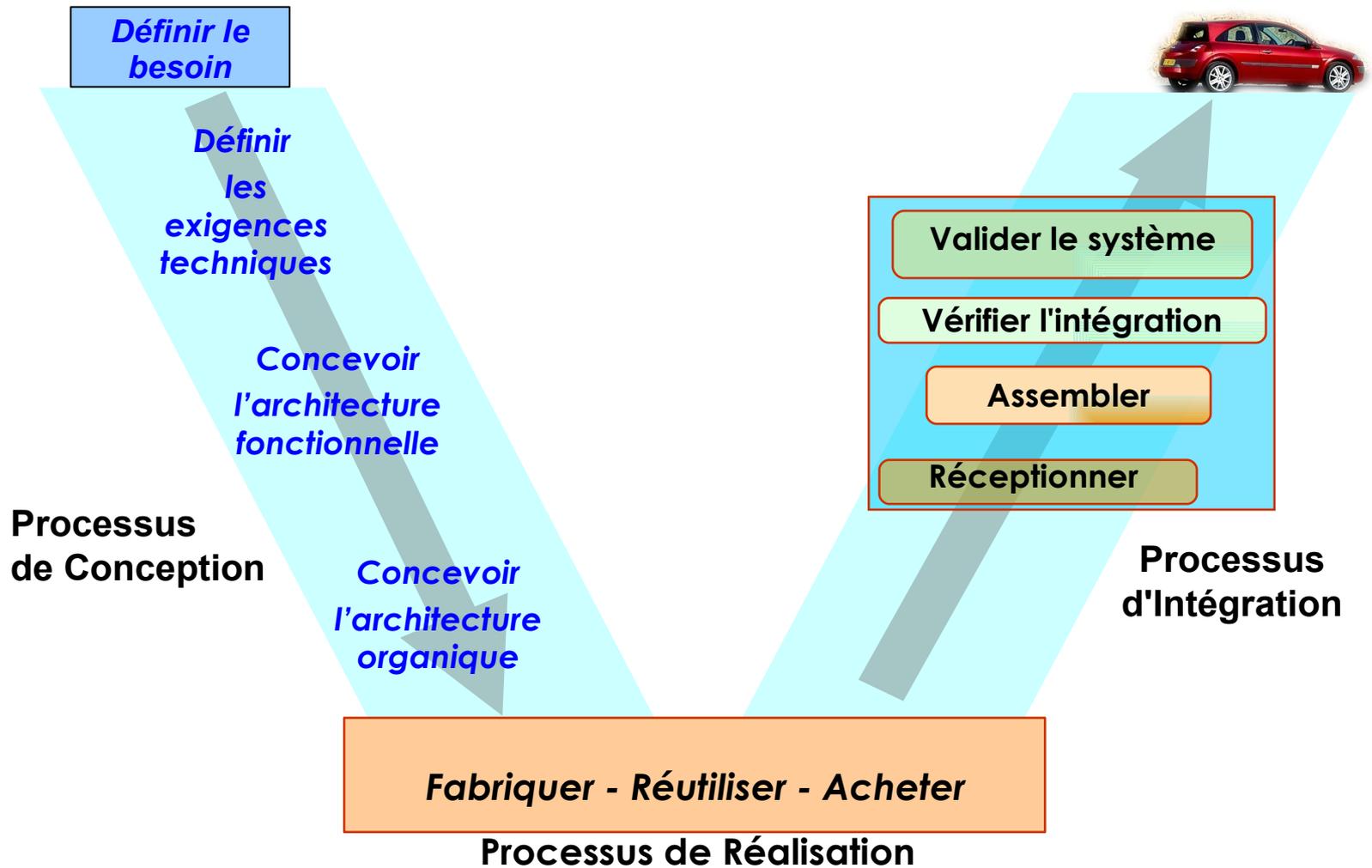
- il est en pratique quasi-impossible de faire 8/12 TPs sur un seul et même savoir ou sur une seule et même compétence ;
- certains supports ne conviennent pas pour aborder tous les points du programme ;
- la disponibilité du matériel est limitée (nombre de supports, nombre d'ordinateur, nombre de licences logiciel,...) et parfois aléatoire (panne,...).

Vu la disparité des savoirs et des compétences à transmettre, l'organisation en CI constitue une piste intéressante.

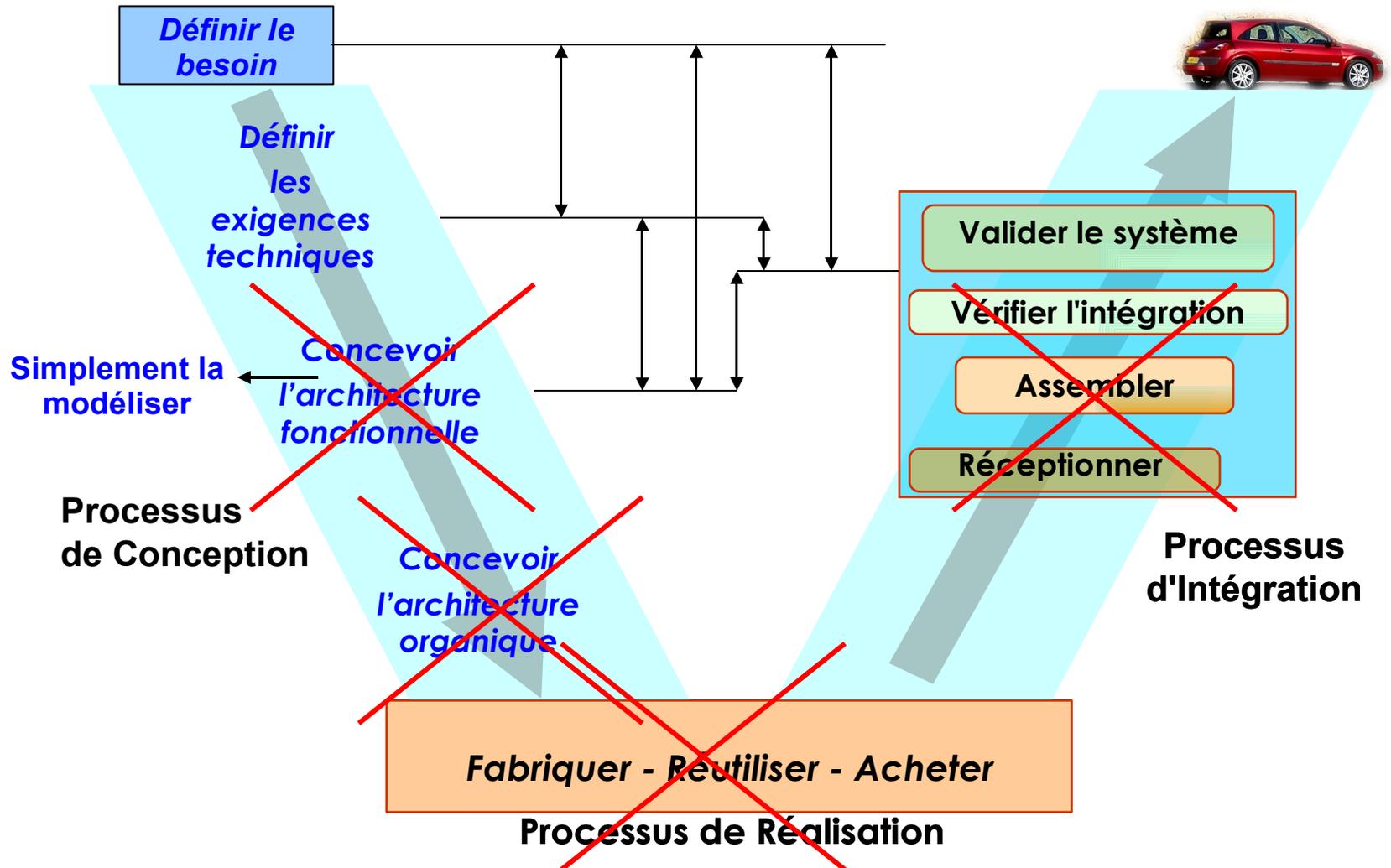
Définition centre d'intérêt :

Ensemble d'activités permettant d'atteindre un niveau **d'opérationnalité** dans un champ de savoir, d'outils et de compétences donnés.

Le TP devient donc l'endroit privilégié pour atteindre un niveau d'opérationnalité, car il permet aux élèves de s'inscrire dans une **démarche ingénieur d'analyse et de conception de système complexe**. Il devient un élément fondamental dans l'apprentissage de la SII. Il accompagne les cours et les TDs dans l'apprentissage des savoirs et des compétences, en déductif ou en inductif.



L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur (en MPSI et PCSI) a pour objectif de permettre aux étudiants d'analyser, de modéliser et de vérifier les performances de systèmes complexes industriels.





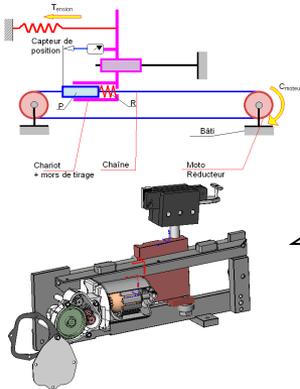
Systeme souhaite

Fonctions de service attendues



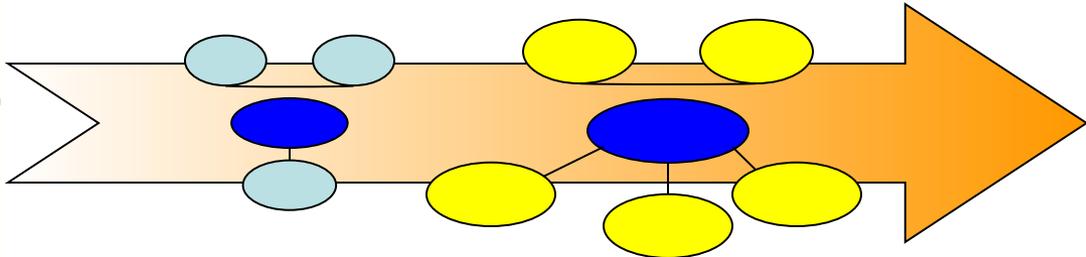
Systeme reel en utilisation

Fonctions de service realisees

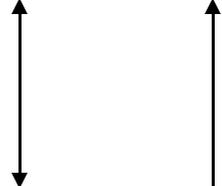


Systeme simule

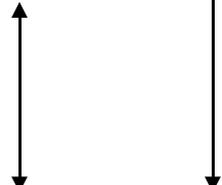
Fonctions de service simulees



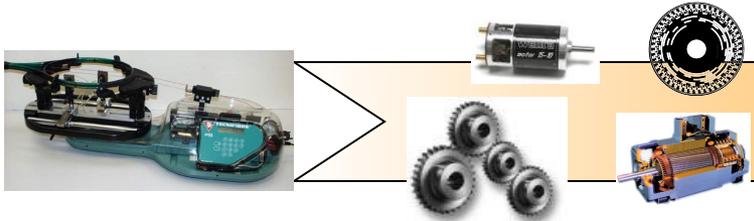
Fonctions de service attendues



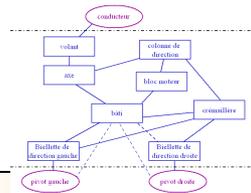
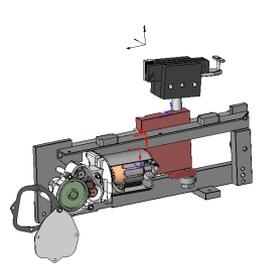
Fonctions de service réalisées



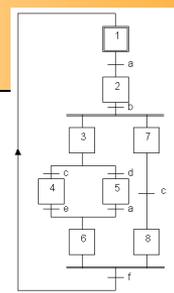
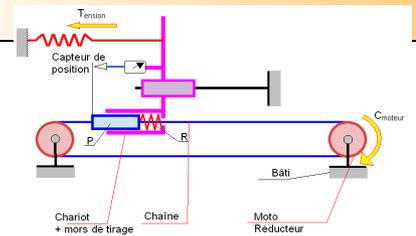
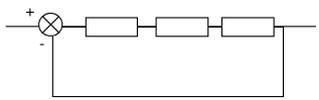
Fonctions de service simulées

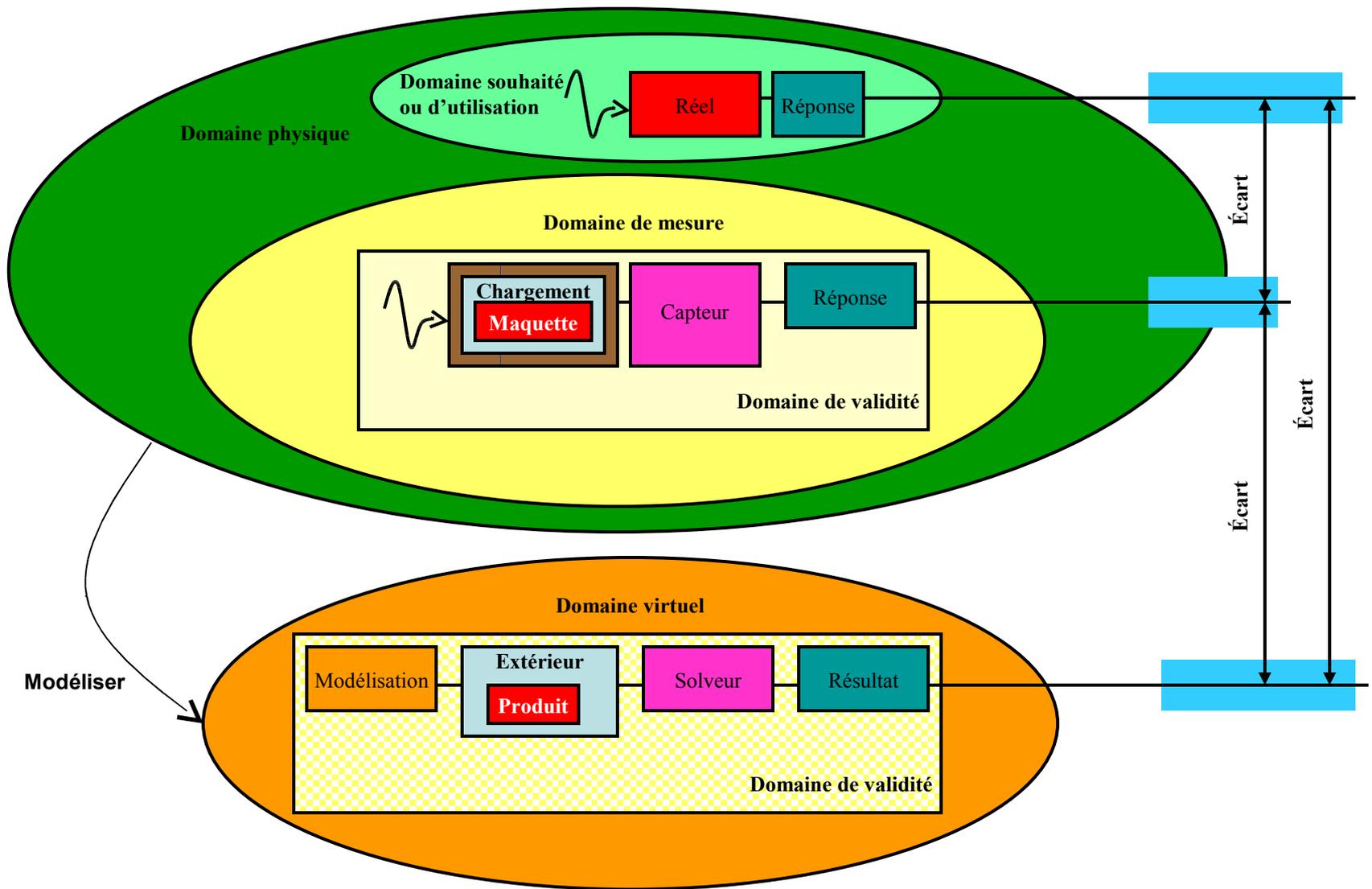


(Nécessité d'avoir des maquettes instrumentées)

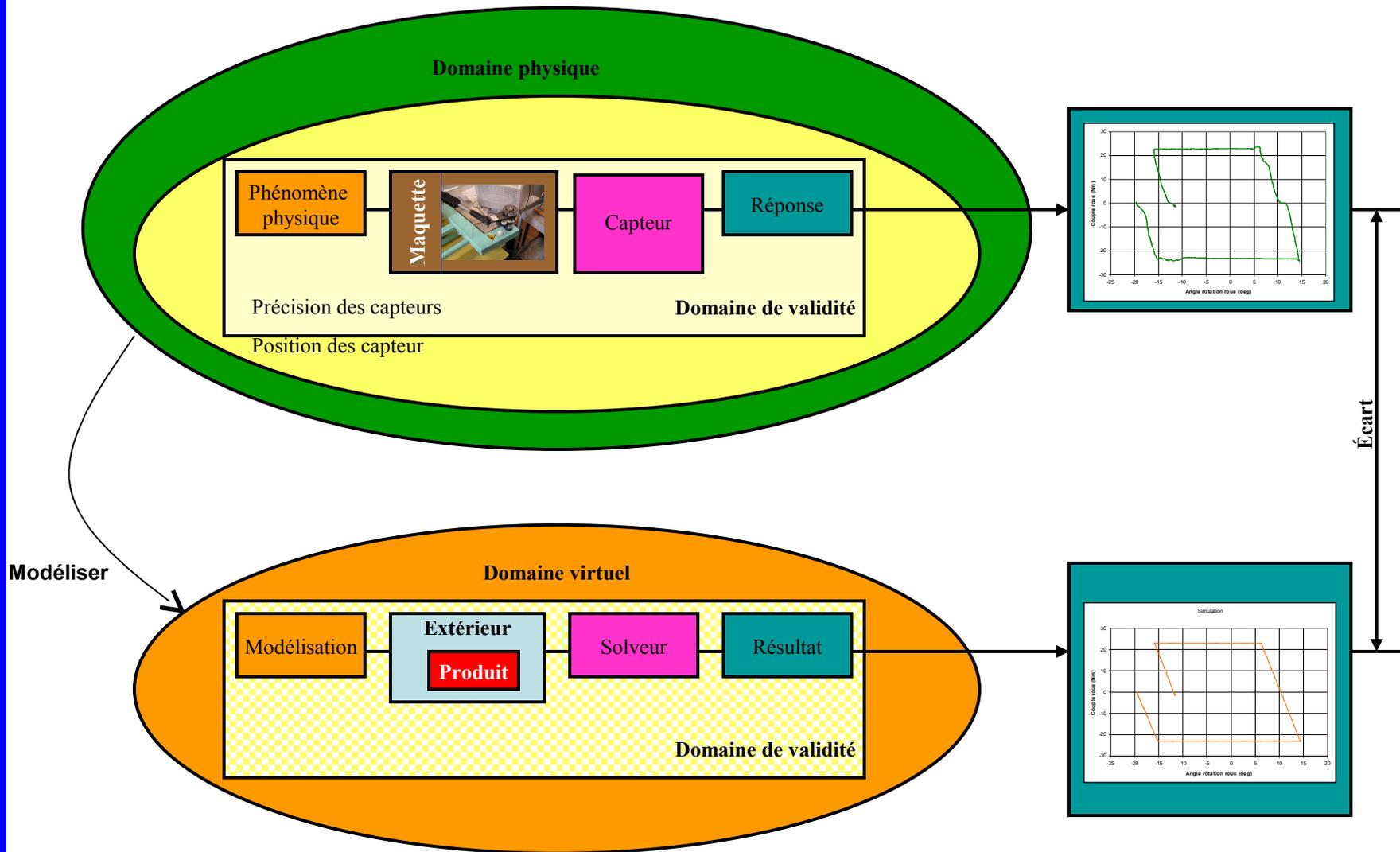


$$\left[\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & B \end{pmatrix} \right]_0 \overline{\Omega}(1/0) = \overline{M}_0(\vec{1} \rightarrow 1)$$





C.I. : modélisation des mécanismes soumis à des actions mécaniques



Découper savoirs et compétences en TPs (1)

SAVOIRS en TP	Etude des systèmes et communication technique											SLOI					Cinématique					Chaine de railleur			Ensemble			Statique											
	Barré	Pencil	Feutre	Codeuse	Homme	Tracer	Direct	Double fin	Ballpoint	Direct	Codeuse	DOE	Direct	Homme	Plume femme	Barré	Tracer	Barré	DOE	Homme	Plume	Pencil	Tracer	Homme	Pencil	Direct	Plume	Barré	Codeuse	DOE	Homme	Barré	Direct	Plume	Pencil				
Etude des systèmes et communication technique	maître d'œuvre, valeur ajoutée, fonction, performance, nature maître d'œuvre																																						
	famille d'application, flux, critères techniques économiques																																						
	partir commande et exécutive																																						
	les transformateur de puissance (linéaire ou réducteur et multiplicateur, système sur-courant, mécanisme plan à barre articulée) et les effecteurs (fonction, mobilité fonctionnelle d'une partie opérative)																																						
	les actionneurs et perfectionneurs (fonction, typologie des moteurs d'entrée et de sortie)																																						
	les capteurs (fonction, typologie des informations d'entrée, sortie)																																						
	les commandes programmables (fonction)																																						
	l'interface de commande et de puissance (cortex EPS industriel, contacteur et relais, variateur électronique de vitesse, distributeur pneumatique, vérin pneumatique, régulateur de débit pneumatique) (fonction, typologie des moteurs électriques de commande technique)																																						
	FAST, SADI, cahier des charges fonctionnel																																						
	la norme technique et ses implications pour un produit																																						
SLOI	représentation en projection cylindrique et orthogonale																																						
	schéma cinématique, hydroliques et pneumatiques																																						
	Mécanisme d'un système ouvert, chaîne directe, chaîne de vitesse, compresseur, écart, modification par variations différentielles, caténaire, zéro vitesse																																						
	modélisation par fonction de transfert, forme canonique, gain, ordre et classe, pôles et zéros																																						
	réponse d'un système, régime, échelon, ramp, stratégie d'insertion d'alimentation et de commande, indicateur, distributeur																																						
	transformation et réduction des schémas à bloc																																						
	fonction de transfert en boucle ouverte et fermée																																						
	réponse temporelle et fréquentielle																																						
	réponse fréquentielle, diagramme de Bode																																						
	approximation linéaire en grande ou variation d'un point de fonctionnement; modélisation et fonction de transfert																																						
Cinématique	méthode de conservation et méthode de représentation																																						
	traverse, système, invariants, axe central, couple et vitesse																																						
	référentiel, paramétrage, angle d'Euler, repère attaché à un référentiel, équivalence référentiel et railleuse indéformable																																						
	kinématique générale d'un vecteur par rapport à un référentiel																																						
	trajectoire, vitesse et accélération d'un point en rapport à un référentiel																																						
	relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels																																						
	vecteur vitesse de rotation																																						
	composition des vecteurs vitesse et des vecteurs rotation																																						
	traverse distributeur des vitesses, équiprojectivité, axe instantané de rotation																																						
	manœuvres articulaires rotation et translation																																						
Chaîne de railleur	calculer l'angle des contacts entre railleur, du rôle de mobilité																																						
	cinématique du contact entre railleur et roulement, autrement, condition cinématique de maintien de contact																																						
	lignes normales des axes railleur, caractériser pour déterminer les axes de rotation et de translation																																						
	rapports de liaison aux distributeurs																																						
	schéma cinématique minimal, schéma d'architecture																																						
	liaison en série et en parallèle liaison cinématiquement équivalente																																						
	relation entre les vitesses des différents schémas cinématiques																																						
	cas particulier de la modélisation plane																																						
	modélisation locale des actions mécaniques (dérivée, de contact)																																						
	lien de Coulomb, rétroaction sur roulement et sur pivotement																																						
Statique	modélisation globale, travers articulé																																						
	action mécanique transmissible par une liaison en traitement et liaison normalisée																																						
	cas de la modélisation plane																																						
	principes fondamentaux de la statique, théorèmes généraux																																						
	équilibre d'un ensemble de railleur																																						
	théorème des vitesses virtuelles																																						
	équation d'équilibre pour les mécanismes présentant au moins une mobilité																																						
	modèle avec traitement archétype																																						
	cadre de l'information, binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n																																						
	algorithme de Broyer, théorème de De Morgan																																						
Système combinatoire	appartenance à une fonction fondamentale																																						
	fonction logique de deux variables																																						
	table de vérité, table de Karnaugh (de variables moindres), simplification théorique et de Karnaugh																																						
	logigramme																																						
	réalisation câblée pneumatique, hydraulique, électronique, électromécanique																																						
	théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																						
	changement de																																						
	Système fréquentiel	théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																					
		changement de																																					
		théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																					
changement de																																							
théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																							
changement de																																							
théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																							
changement de																																							
théorème de superposition et de la fonction minimale (cote minimale)																																							
changement de																																							

Les TPs ainsi construits permettent :

- de **respecter l'objectif** du programme ;
- de travailler en **centres d'intérêts** ;
- de **voir les manques de supports** dans le laboratoire ;
- de **rendre opérationnels les élèves** dans un champ de savoirs et de compétences donné ;
- de permettre aux élèves d'apprendre une **démarche d'analyse de système complexe** ;
- de montrer **la vision transdisciplinaire** (mécatronique) de notre discipline ;
- de **dédoubler les TPs** (alternance domaine physique / domaine virtuel) pour palier le manque de support ;
- d'aborder les TPs par **l'approche système**, seul outil pour étudier la complexité.

Les synthèses permettent :

- de **mettre en ordre** les savoirs et compétences nouveaux ;
- de bien illustrer **l'insertion** des savoirs et des compétences dans la **démarche** d'analyse de systèmes complexes ;
- de **ré-expliquer** les points difficiles ;
- d'**illustrer** la réalité des systèmes industriels.