

J'ai été étonné, il y a déjà longtemps, par l'analogie entre l'idéologie trifonctionnelle et la façon dont l'ingénierie système est abordée. J'ai essayé d'en tirer parti dans ma manière d'analyser les systèmes complexes d'EADS (bureaux d'études, architectures informatiques, organisations de maintenance, production d'atelier, lanceurs et avions...).

Ces systèmes sont fortement marqués par les pratiques et théories américaines (dont NASA et DoD) en ingénierie militaire et spatiale, elles-mêmes façonnées par le Taylorisme.

Mon exposé vise à faire partager ma réflexion; il n'a aucune valeur scientifique qui demanderait une rigueur de pensée et un approfondissement théorique dont je ne sens pas l'utilité.

# Systemique et idéologie trifonctionnelle

## *systemes industriels et gestion de simulation*

**M Dureigne**

images  
**EADS**

Auto (ESE) Sat (Th CNES) Reg centrales, usines, CAO (CEM) mgt R&T XAO (EADS)

# Introduction

L'idéologie trifonctionnelle fait référence aux travaux de G Dumézil sur la culture indo-européenne. Elle a trait à l'organisation ternaire et trifonctionnelle qui règle et équilibre les capacités et les compétences de chacun : prêtres qui administrent le sacré ; guerriers, détenteurs d'une force brutale canalisée et commandée par le roi pour la défense et la tranquillité de tous ; artisans et producteurs qui procurent à la communauté le moyen de subsister.

Le terme systémique est pris au sens scientifique : « manière d'analyser un ensemble complexe de faits ou d'éléments en relation, en traitant ces derniers dans leur globalité et non individuellement ».

Systèmes industriels font référence à l'organisation rationnelle du travail de conception, production et exploitation. Les approches scientifiques de Taylor qui portaient sur la production, ont été largement étendues et transposées aux secteurs études et services. L'informatisation constitue la partie la plus visible de la dimension rationnelle.

# Bases et spéculation: société humaine

**Dumézil** : Au travers de l'étude de récits indoeuropéens (maîtrise de trente langues), montre que les mythes exprimés par ces récits traduisent une conception trifonctionnelle de la société. Ces fonctions sont portées par des sous organisations sociales : **prêtres/ juges, noblesse/ forces** d'interaction (maintien de l'équilibre interne et externe : police et armée), et **producteurs/nature**. Ces fonctions structurent l'univers social, et au-delà le monde.

-----

L'organisation trifonctionnelle de l'univers social est à la fois une réalité pour les membres d'une société, et en même temps un schéma intellectuel inscrit au plus profond d'une culture.

On peut donc faire l'hypothèse que chaque fois qu'un membre ou groupe de ce type de société cherche des repères pour organiser sa pensée, l'organisation triadique lui semble aller de soi. On peut même spéculer que la langue, c'est-à-dire le vecteur de la pensée, est porteuse dans sa structure même de cette organisation

La langue en tant contenant (grammaire) et contenu (connaissance)

Chomsky et structures syntaxiques, considère que les expressions (séquences de mots) ont une syntaxe qui peut être caractérisée (globalement) par une grammaire formelle . Richard Kayne (1990) suggère que toutes les langues sous-tendent une structure Sujet-Verbe-Objet → *objets, action* qui portent un *message*.

Claude Vogel ( méthode KOD) propose un modèle cognitif comprenant des taxinomies (description hiérarchique du monde physique), des actinomies (schémas mentaux d'actions type heuristiques) et des schémas d'interprétation (type connaissances profondes) permettant de comprendre le monde réel.

Les ontologies et les concepts reprennent les bases ensemblistes: définition terminologique,/en compréhension (logique d'appartenance)/en extension (liste d'éléments réels)

Mots abstraits doivent être précisés; ex information est en fait une triade valeur, processus, ou donnée

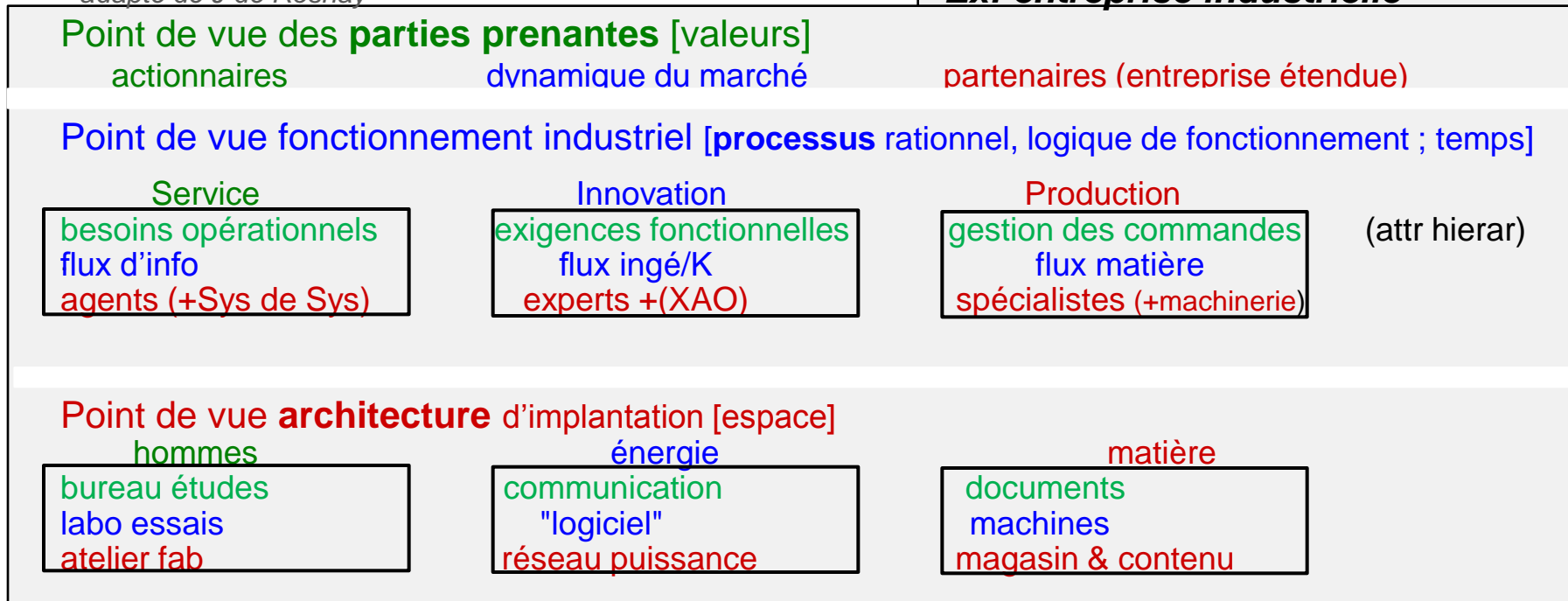
---

# Macroscopie\* trifonctionnel, règles du jeu

L'analyse systémique se fait pour un point de vue donné où l'on met en évidence les pôles **valeur** (et gouverne de la valeur), logique **d'action**, et **objets** concrets en interaction.

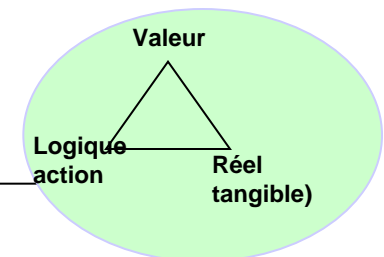
\* adapté de J de Rosnay

**Ex: entreprise industrielle**



Analyse fractale d'organisations complexe; ex projet a trois pôles : juges (pilotes d'activité), agents d'organisation, et producteurs (équipes opérationnelles) ; ces pôles sont à leur tour des organisations locales.

3 niveaux: le "tout" auquel on cherche à donner un sens par l'analyse ; cercle  
 la logique triadique de décomposition ; triangle  
 le détail (en 3 fois 3 éléments) plus concret car plus spécialisé.



# Bases et spéculations: science physique

**Leibniz:** énonce que la force est la réalité (indépendante du mouvement qui dépend du point de vue); jette les bases du langage des mathématiques de la physique (calcul et notations différentiels) et tente de développer un langage de la pensée rationnelle.

Wikip : rêve d'une logique de calcul algorithmique et donc mécaniquement décidable ; traitant calcul et jurisprudence  
La force n'est pas le résultat de l'action de démons cachés, mais obéit à des lois naturelles qu'il faut expliciter.

Boole dégagera ce langage de base, ouvrant la voie au logiciel et ses machines informatiques [IHM/gouverne, action processeur, structure mémorielle (bus, registres, mémoire)], et au plan théorique à la théorie des ensembles.

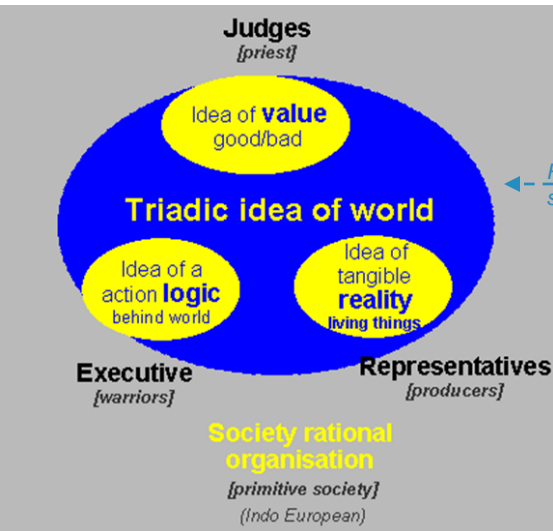
-----  
Passant d'une vision centrée sur la géométrie et la persistance des choses, le siècle des lumières va mettre l'accent sur la logique des actions et l'énergie, et changer de modèle économique avec la révolution industrielle (travail mesuré par l'énergie).

Les machines énergétiques reposent sur trois pôles: **entropie/information**, **énergie/puissance**, **matière/forme** sur lesquels s'appuie la pensée de l'ingénieur.

L'entropie exprime qu'en l'absence de gouverne un milieu énergétique tend vers le désordre. Initialement en thermocinétique: situation de départ où les molécules les plus agitées sont côté source chaude, celles peu agitées côté froid ; une situation finale où l'on ne peut plus distinguer une zone chaude d'une zone froide ; on passe de 2 à 1 zone il y a décroissance de l'organisation. le principe d'entropie n'a pas trait à l'énergie mais à une disponibilité d'information pour maîtriser l'énergie. [Le démon de Maxwell diminue l'entropie s'il peut empêcher des particules de quitter une zone, pour ce faire il a besoin d'information sur les trajectoires] Voir aussi le texte de <http://jeanzin.fr/ecorevo/sciences/entropie.htm>

# Spéculation: Trinité et siècle de lumières

3 fonctions divines pour Dieu unique  
 Père/ valeur bien et mal  
 St Esprit / action (langue de feu Pentecôte)  
 Ressuscité/ réel (toucher St Thomas)  
 Dogme ayant émergé lentement (Nicée 325)



A leading concept in XVIII century (classical science)

Rational thought

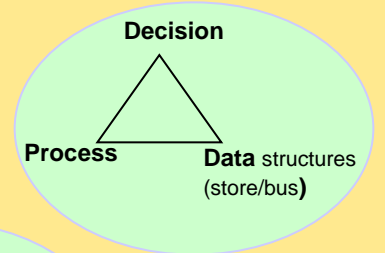
Action logic

Scientific reality

**Leibnitz**  
language for rational thinking

**Boole**  
binary logic

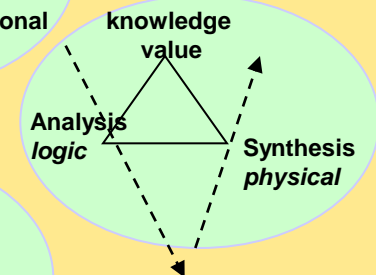
**Cybernetics & IT**



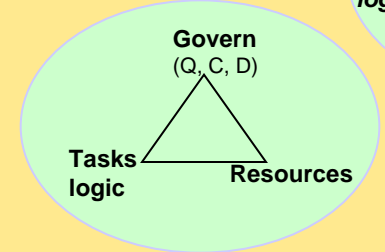
**Clauswitz**  
(decision horizons)



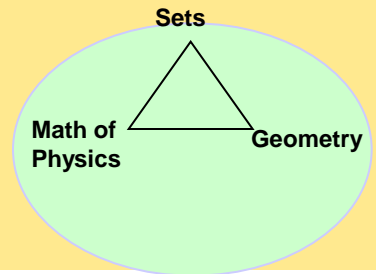
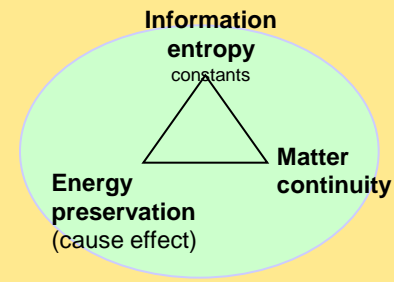
**R Descartes**  
(methods)



**A Smith** → **Taylor**  
(produce)



**Newton, Carnot**  
*Science for engineers*



refonte du triadique au siècle des lumières dans son effort de rationalisation (mathématisation) de l'univers:  
 Montesquieu et ses trois pouvoirs, où le peuple (le "réel") est la source de la loi ; Leibnitz pour un langage ancêtre de l'informatique ; « de La Guerre » de Clausewitz qui marque durablement la pensée militaire ; Descartes et discours de la méthode; triptyque "expérimentation, loi de la physique, valeur de la connaissance prouvée par les applications".

# Bases : Systèmes et standards d'ingénierie

L'objectif technique de l'ingénieur (engins militaires et son dual résistance des murailles) est de maîtriser l'énergie par des machines simples ou interconnectées et une gouverne appropriée.

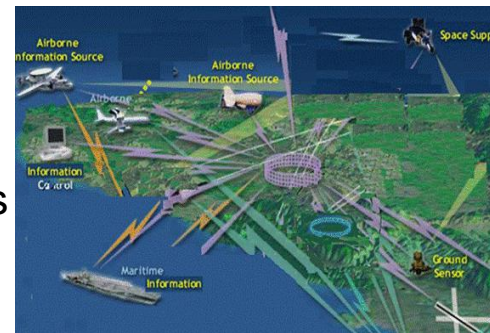
Il y a d'une part un métier d'énergie/matière et d'autre part un métier de l'automatisation; l'ingénieur système couvre ces différents aspects en s'appuyant sur des spécialistes des comportements actifs (machines), passifs (structures) et informationnels (réseau de gouverne)de la matière .

Par système, on entend un ensemble d'éléments humains ou matériels en interdépendance les uns les autres et qui inter opèrent à l'intérieur de frontières ouvertes ou non sur l'environnement. Les éléments matériels sont composés de sous-ensembles de technologies variées : mécanique, électrique, électronique, matériels informatiques, logiciels, réseaux de communication, etc.

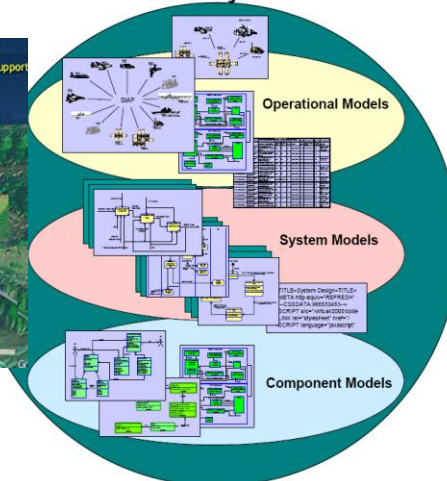
Par systémique, on entend le fonctionnement d'un ensemble, qu'il s'agisse d'un être vivant, d'un système électronique de régulation de température, ou autre étudié par une démarche globale, qui s'attache davantage aux échanges entre les parties du système qu'à l'analyse de chacune d'elles , en raisonnant par rapport à l'objectif du système, et en établissant les états stables possibles du système

Dans la pratique (méthodes d'organisations telles que INCOSE/AFIS OMG DOD) l'univers des systèmes est scindés en 3 niveaux

- Système de systèmes centrés réseau-signal  
(coordination à la demande de systèmes: → info)
- Systèmes complexes centrés couplage  
énergétique multi niveau (avion, centrale → énergie)
- Systèmes simples centrés composants régulées  
(sous systèmes, électronique, machine → matière)



Modeling at Multiple Levels of the System



# Analyse d'ingénierie machine volante complexe

## Grandes organisation d'ingénierie structurées par phases

acquisition/évolution

innovation multidisciplinaire/ ingénierie concourante

production prototype/série

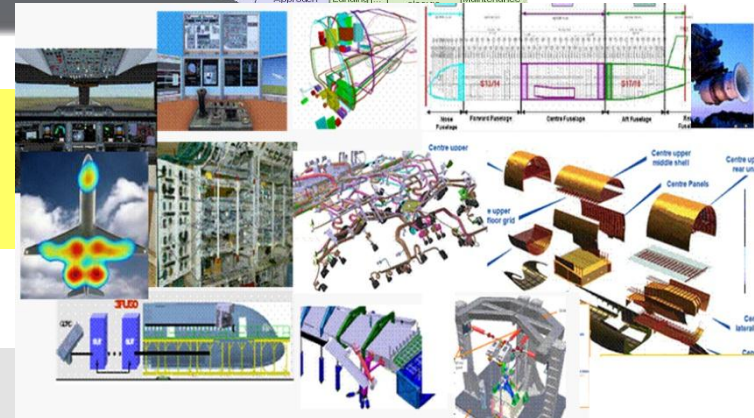


Grand nombre d'interactions avec monde externe  
Gouverne complexe de besoin multiples

Haut niveau technique +recours à M&S avancée  
environnement énergétique complexe, essais en vol  
*énergie sous forme méca, thermique, elec, aéro, ...*



Longue durée développement  
vaste collaboration  
d'ingénieurs ou techniciens

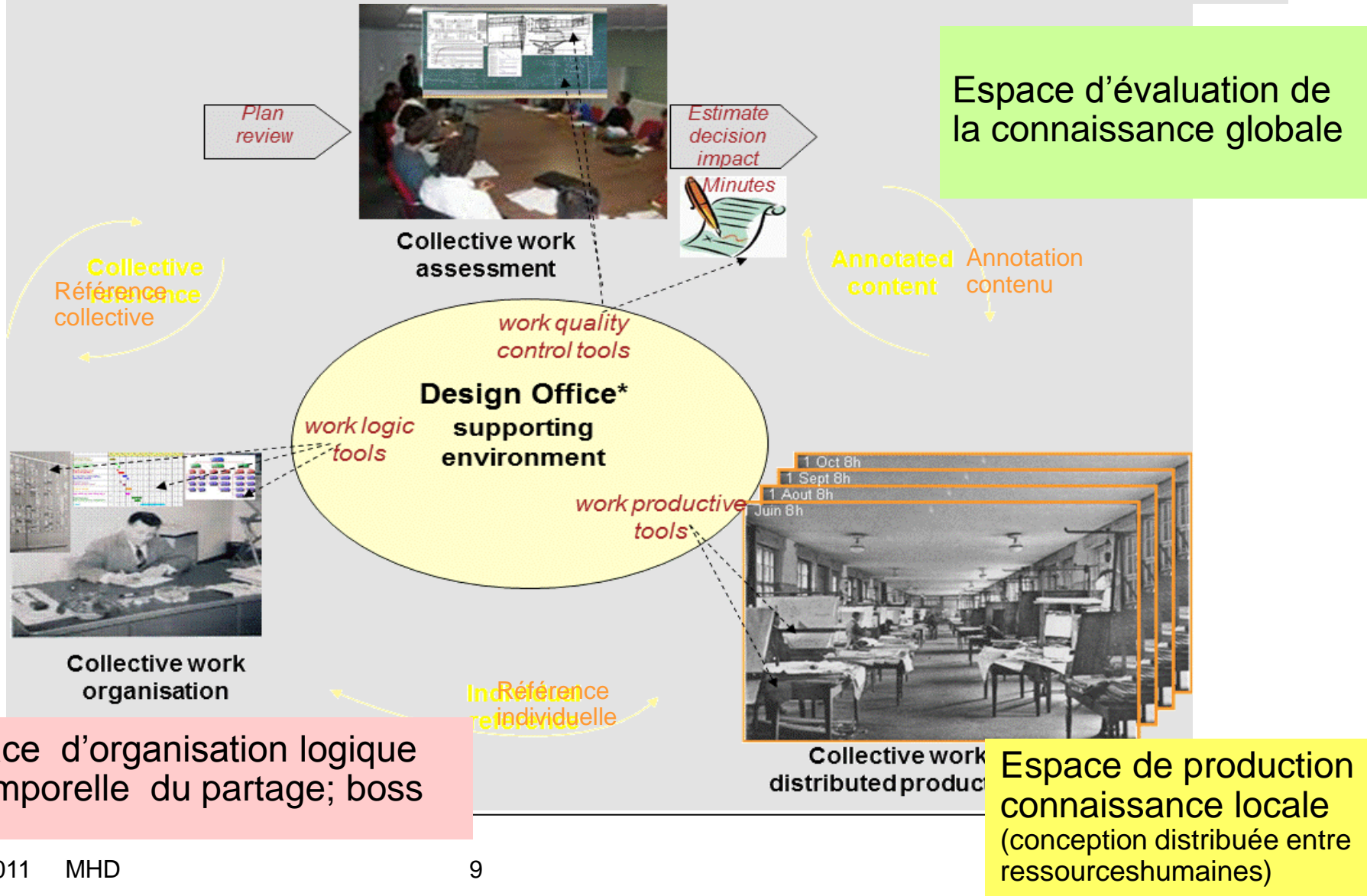


Les machines volantes complexes (lanceurs, jets, missiles balistique) ont nécessité le développement de techniques nouvelles pour de grandes organisations collaboratives multidisciplinaires. Sécurité, optimisation énergétique suivant trajectoires et minimisation masse à mener de front.



# Bureau d'études traditionnel

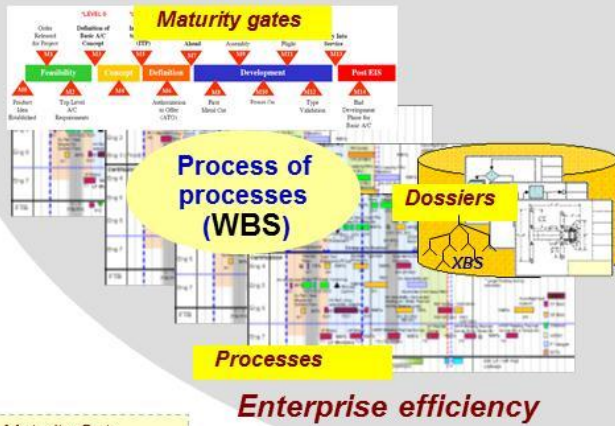
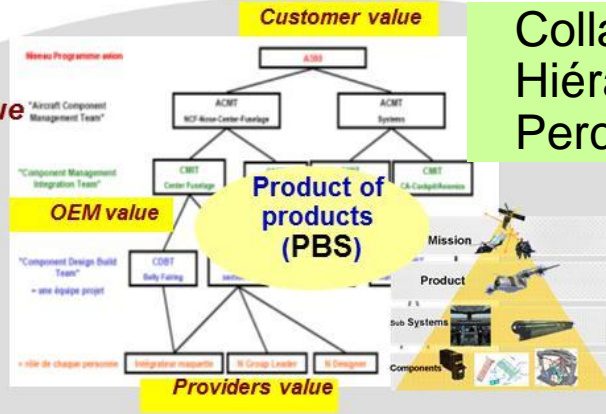
Fonctions: évaluation, logique du travail, production connaissances



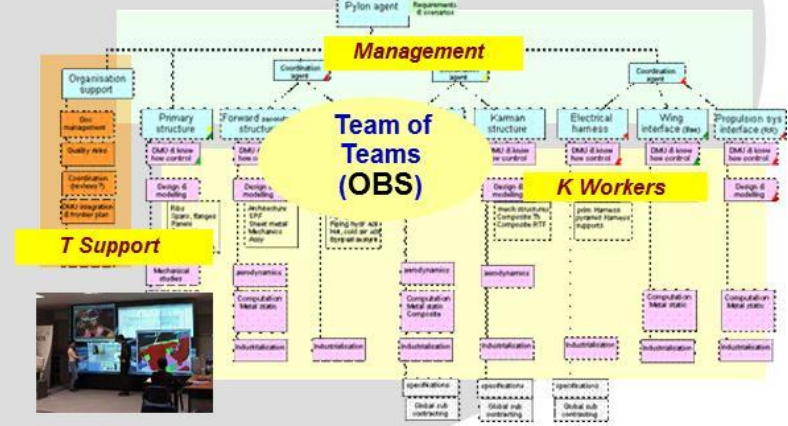
# Gestion programme: évolution connaissance produit

Collaboration des parties-prenantes  
Hiérarchie des paramètres de gouverne  
Perception du produit

**Product value**  
multi levels  
**Govern**



▲ Maturity Gate = "verified dossier"  
dossier = authored trace of work



Gestion collaboration métier  
Production unitaire  
Soutien technique (XAO)

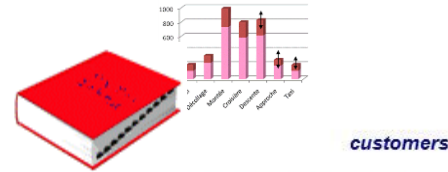
Jalons de coordination  
Planification logique  
Traces documentaires

# Gouverne hiérarchisée de l'évolution du produit

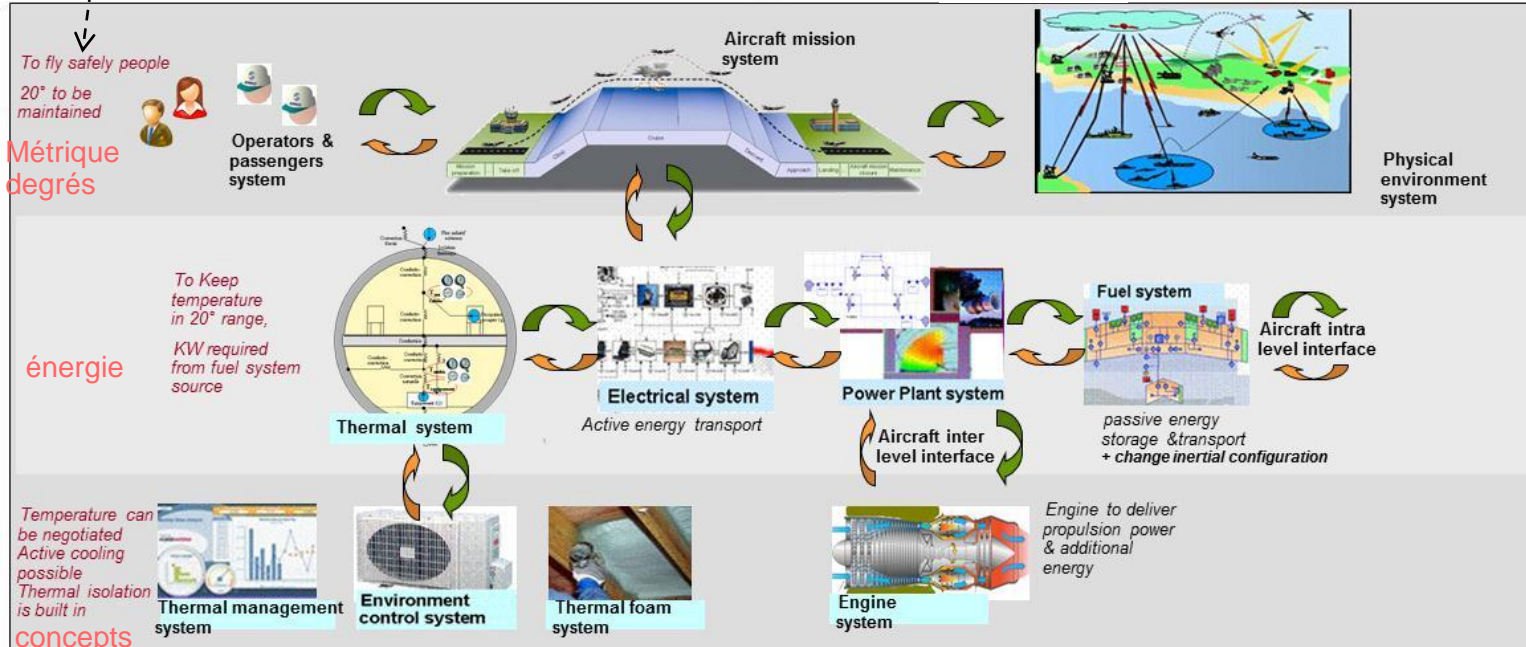
Illustration sur cas thermique

To fly safely people  
Confort survie

Aircraft demand & offer



Gouverne besoins opérationnels



Gouverne abstraite hiérarchie logique "paramètres modèles"

Technology demand & offer



To provide best industrial solutions

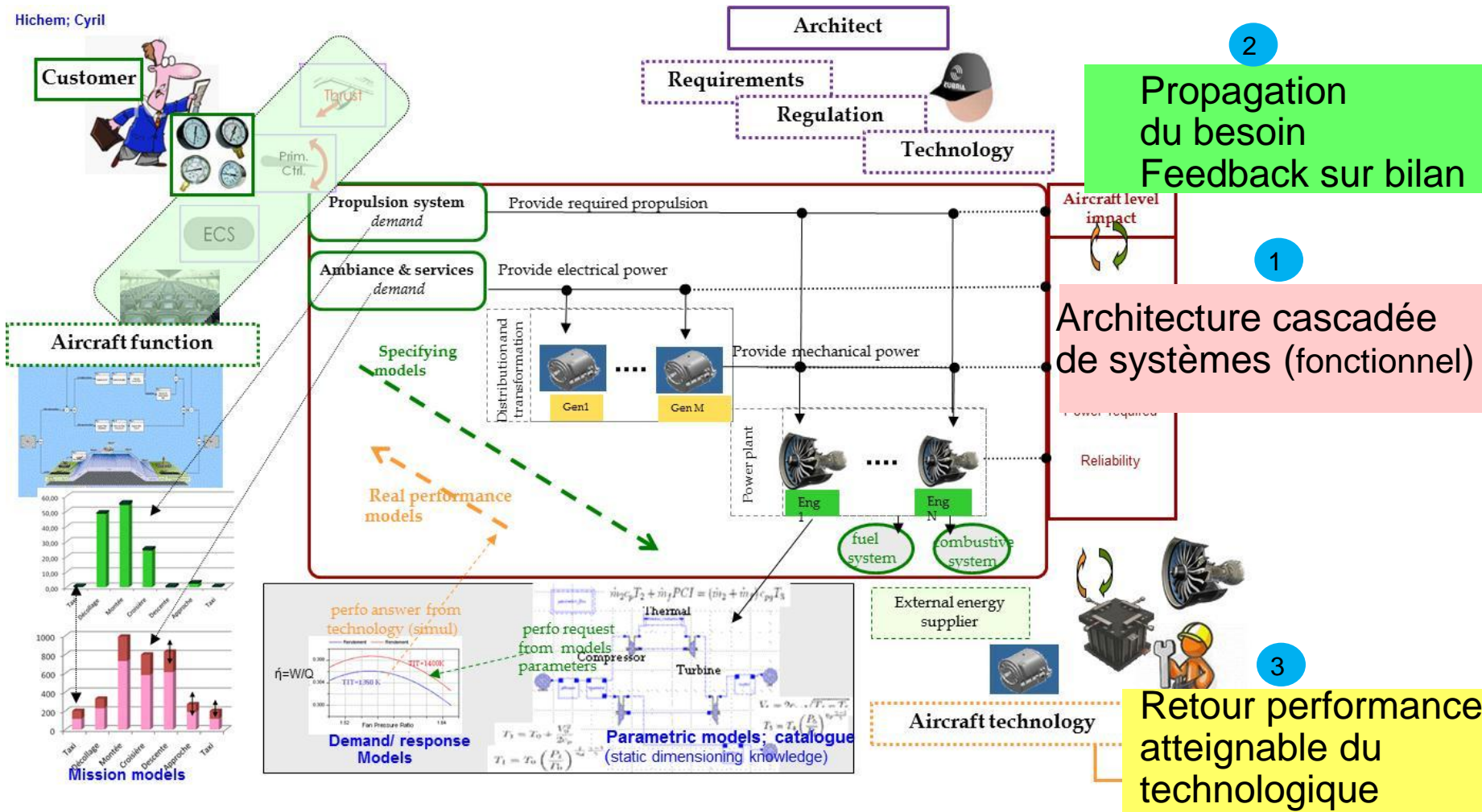
solutions

Gouverne caractéristiques technologiques

descente récursive de besoin → technologie      intégration de technologie → opération (avion dans ciel)  
couches transverses de savoir technique (valorisé par besoins et contraintes du produit)

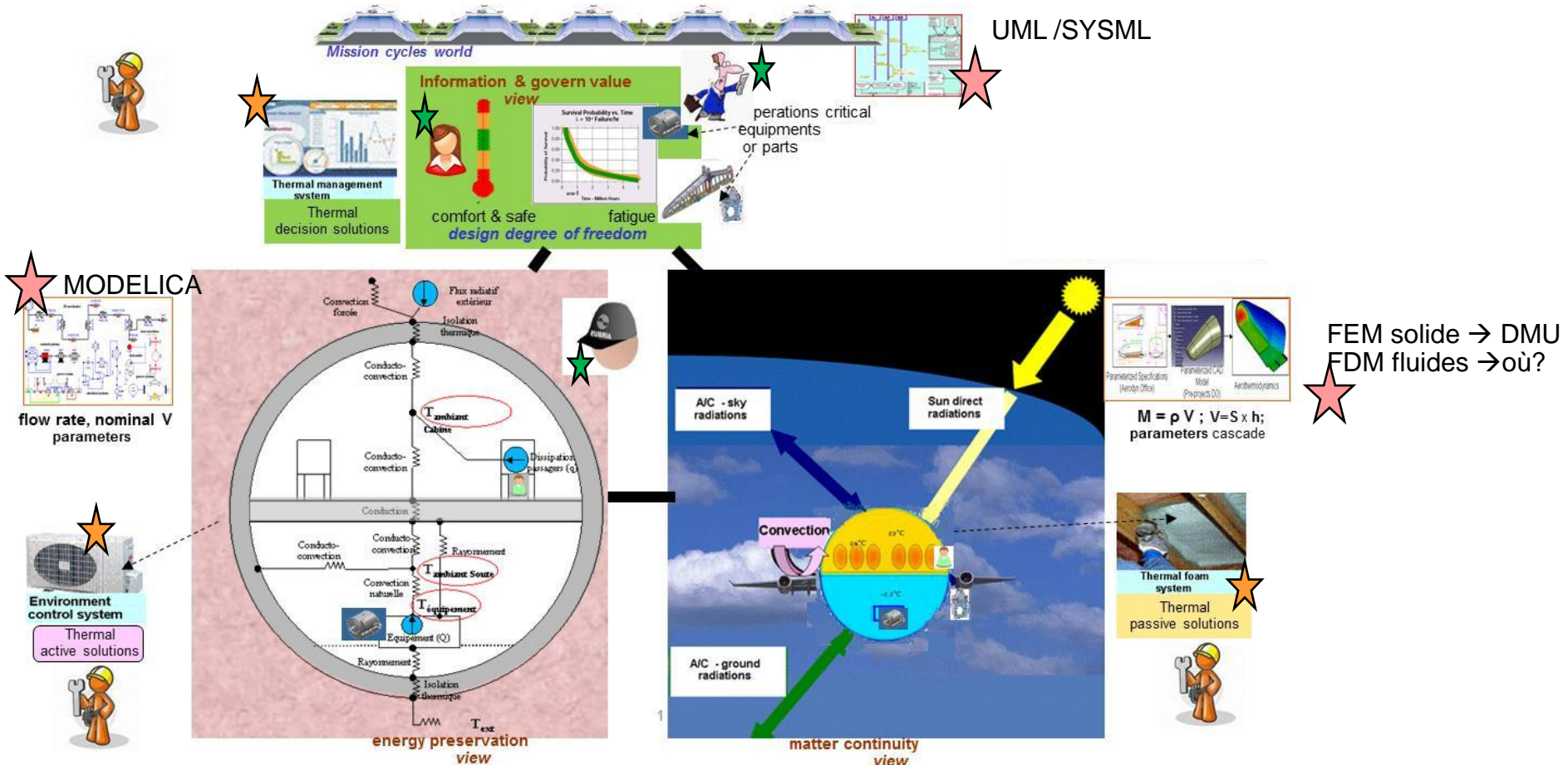
# Phase avant projet (mettre en place le référentiel collaboratif du produit)

Hichem; Cyril



Equipe très réduite, itérations multiples, domaine des boucles d'optimisations mathématiques

# Phase innovation: architecture comportementale



3 équipes techniques jouant les rôles: pilotes/passagers architectes réalisateurs de solutions  
 3 vues du comportement projetées en 3 modèles autonomes → cohérence à assurer entre modèles **0D** type UML/SYSML, **1D** type MODELICA/Kirchhoff [scalaire], **3D** type FEM/FDM [vectorielle]  
 3 classes de solutions : passive/matière (mousse); active/énergie (climatiseur); info (gestion consigne)

# Phase détail: architecture maquette virtuelle

**Ingénierie concourante: interface** opérations, **installation** systèmes, **assemblage** structures  
la maquette: une organisation spatiale et multi configurations



Ingénierie des opérations  
(pilotage, inspection); ergonomie  
logiciel codé

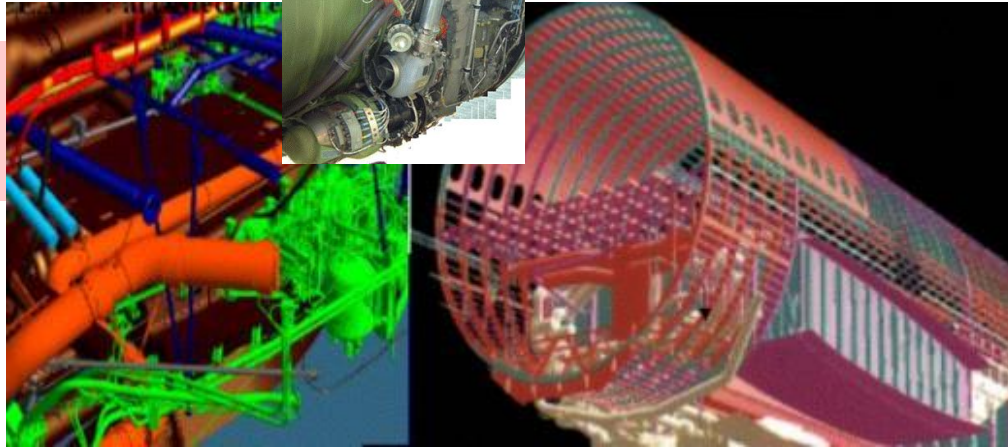
*Arborescence par fonctions*

*Energie et matière des  
IHM et électronique signal*

Ingénierie des  
installations  
et essais de flux

*Arborescence par  
sous systèmes*

*Energie et matière des  
sous systèmes*



*Energie et matière des  
structures*

*Arborescence par  
zones d'assemblage  
sous ensembles  
sections tronçons*

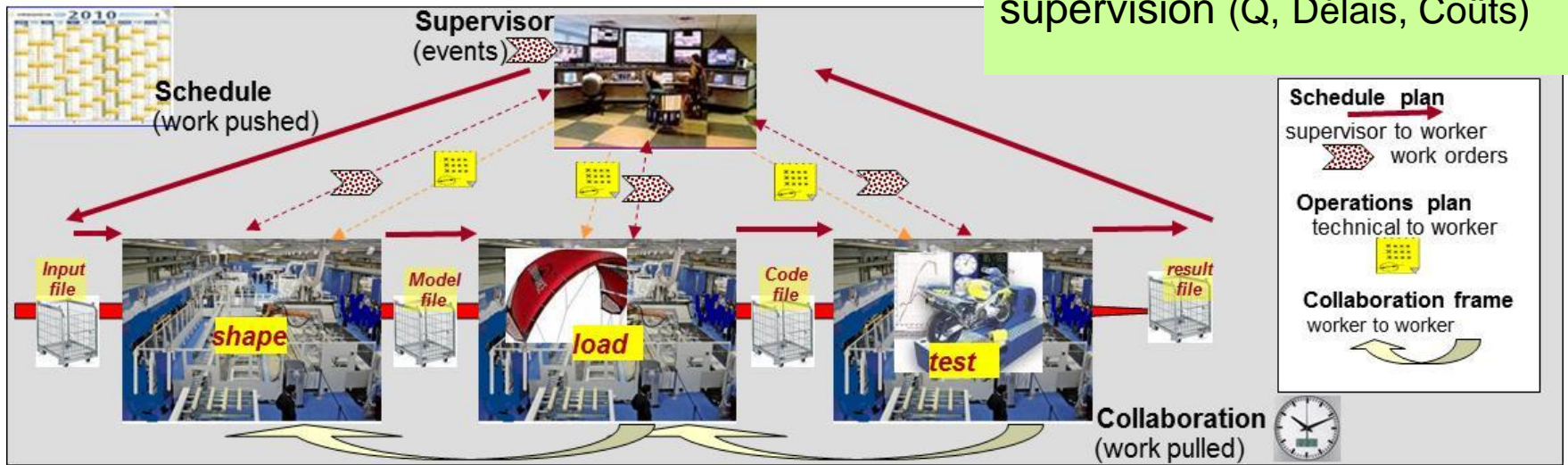
gestion complexe **négociation** entre ingénieries  
3 **arborescences** de composants (modes de navigation)  
1 maquette numérique partagée (*composants 3D*)

Ingénierie des structures  
et outillages  
référentiel de surfaces fonctionnelles  
et tolérances

# Phase production: usine flexible

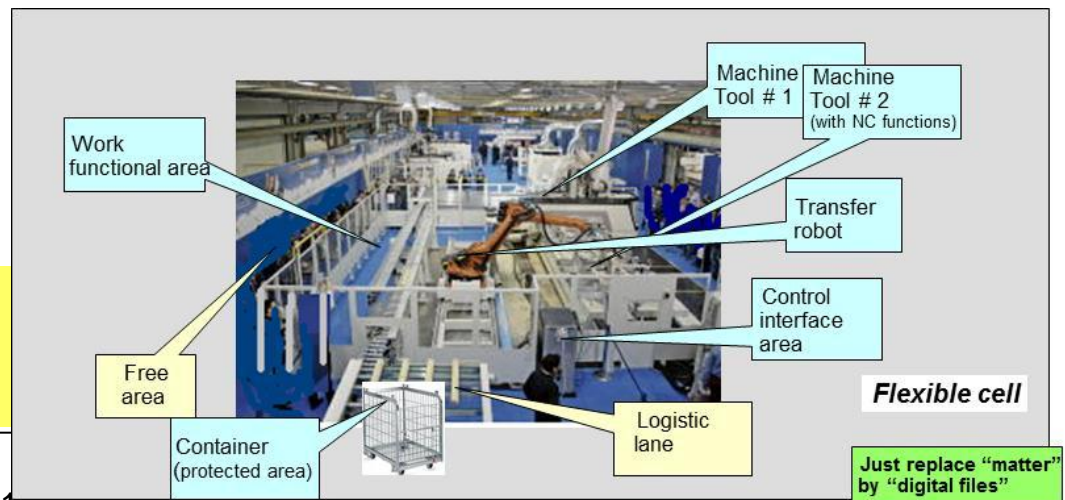
Fonctions : commande client; flux matière; moyens en interaction  
*paradigme de l'usine applicable à simulation*

Gestion commandes & supervision (Q, Délais, Coûts)



Processus de production  
 Flux supervisé (priorités, optimisation)  
 Flux planifié (push)  
 Flux tiré par opérateurs (réel)

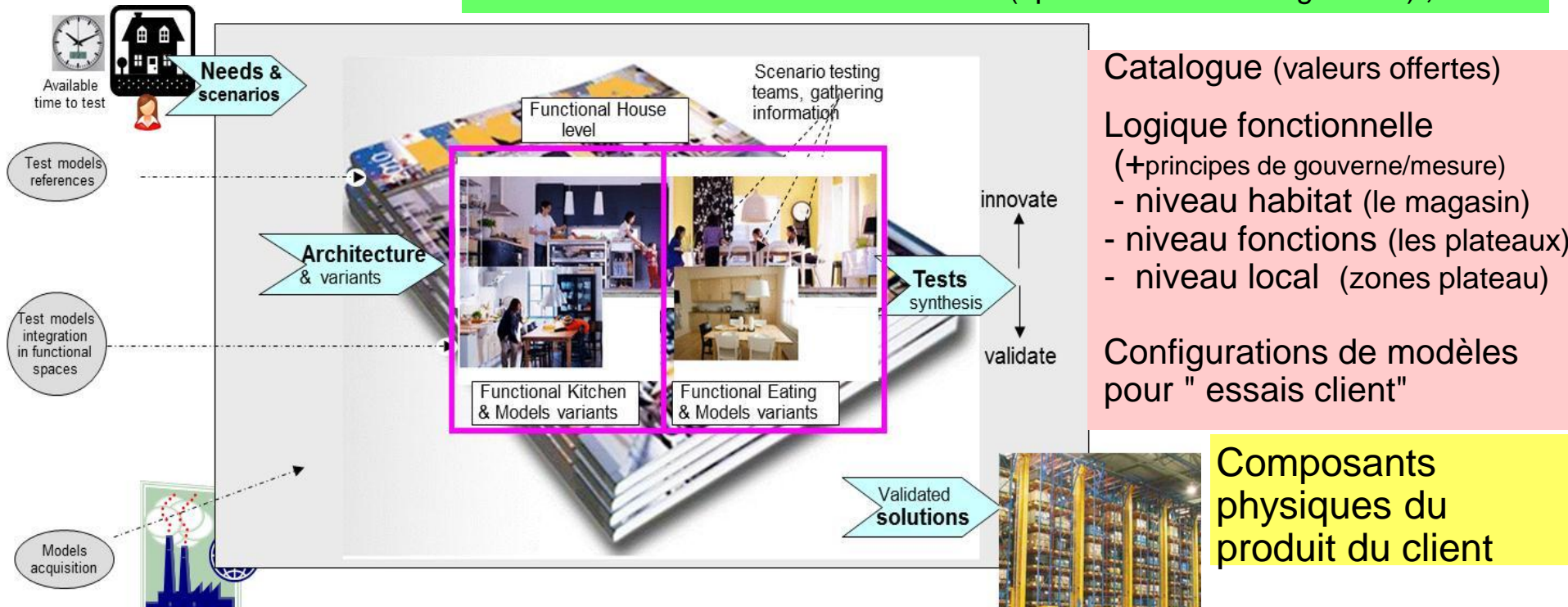
Unités en interaction (cellules)  
 pilotage (CPU + hommes)  
 machines énergétique  
 robots transferts



# Phase acquisition: acquisition basée sur la simulation

## Paradigme du magasin IKEA

Besoin : valider un scénario mission (évaluer des idées)  
valider un comportement (comparer attendu, obtenu)  
valider une architecture (optimisation de configuration),



La simulation comportementale (ou les) de systèmes complexes constituent la vision technique. Mais à l'image du magasin, la vision complète demande de prendre en compte des thématiques d'organisation humaines et d'infrastructure; c'est un autre niveau systémique.



# Limites locale

Le microscope systémique triadique a l'avantage de la simplicité ; il correspond à une figure minimale largement utilisée en symbolique : le triangle.

Les trois pôles {valeur, logique, réel perçu} ne sont pas commutatifs : la triade de l'ingénieur {exigences, énergie, matière} n'est pas celle de l'architecte {exigences, matière, énergie}. La logique du premier a trait aux mathématiques de la physique (énergie) et le réel émerge de la mise en synergie de composants matière ; la logique du deuxième a trait à la géométrie et le réel est la tenue énergétique des matériaux. Il peut donc y avoir des erreurs d'interprétation ou des glissements sémantiques dans l'usage du microscope.

L'inconvénient du triadique et ses trois dimensions irréductibles est de déboucher souvent sur une représentation "papier". La triade devient alors un découpage spatial (ou spatiotemporel) avec des problèmes de frontières. Par ailleurs la triade masque la grande souplesse d'adaptation de toute organisation complexe. Elle doit être complétée par des présentations utilisant des bases de dimension supérieure à trois.

Pour le domaine de l'ingénieur, il convient de se limiter à la physique classique.

L'application au monde de l'énergie vaut pour la physique classique, avec ses principes de conservation de la masse/espace, de l'énergie/temps, et d'entropie/information.

L'équivalence masse énergie remet en cause cette structure, même si l'on peut se poser la question du modèle  $E=mc^2$  où l'on trouve liées énergie, matière et information ;

La physique quantique pose le problème du réel (matière non accédée directement), et de la dépendance à l'observateur (le courant de mesure est très supérieur au courant mesuré).

# Limites globales

L'image d'un microscope trifonctionnel comme outil d'analyse n' a pas de valeur universelle comme le montre le mode de pensée Chinoise.

La systémique est une approche globale, mais implicitement elle est une vision indo européenne. Comme toute pensée elle se traduit (ou est influencée) par le vecteur d'échange collectif qu'est la langue.

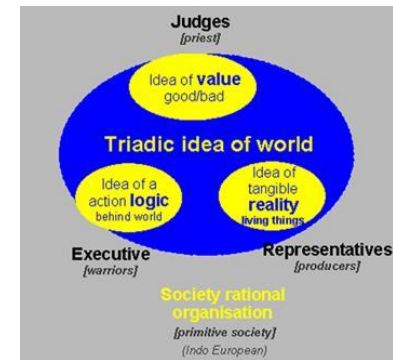
**Côté occidental**, en restant dans le cadre structuraliste et sa triade : objet (sens), groupe verbal, groupe nominal. Ces trois éléments sont relativement autonomes; la base est vocale (enchaînement temporel.; Forte importance de la grammaire ; mode d'expression logique

Le **verbe** est abstrait et autonome (conjugaisons); il est porteur du temps avec ses modes passé, présent, futur ; le nom est concret, spatial et précis (il a une définition).

**Côté Chine** la base est le caractère ou image spatiale (lui-même composé spatialement de briques), et l'assemblage « thème ou contexte » et « commentaire ou cible ». Large utilisation de « dictons » ; mode d'expression analogique

Le verbe est un caractère indépendant du temps (« infinitif ») avec des modes vécu, réalisé, progressif à placer dans un contexte temporel (un peu comme un film qui mémorise une scène et la place dans le temps). Le mot ne peut être défini car son sens dépend du contexte.

Universalis : pas de faits isolés aux yeux des chinois, tout est contexte et partie de contexte, et sans cesse tout fonctionne ; rien n'est stable et fixé ; tout dure mais change et devient



yin yang (concomitance, non opposition) .

# Conclusion

L'analyse trifonctionnelle prend toute sa force quand elle est couplée avec un besoin d'introduction d'informatique dans un univers complexe ; en effet l'informatique est par nature trifonctionnelle : l'interface utilisateur (le sens ou valeur du contenu), la logique de fonctionnement (le software) et la machinerie électronique (le contenant réel ou hardware incluant le réseau).

Le monde informatique a une méthodologie de développement trifonctionnelle: la phase conceptuelle, la phase de logique et la phase d'implémentation. Le cœur du dispositif est bien entendu le logique ou "force cachée" et la question qui se pose, comment ce logique est-il en relation avec le conceptuel et les objets du physique ; l'analyse conduit alors à distinguer du logique conceptuel et du logique physique et à relier ces deux logiques d'où les architectures fonctionnelles et physiques de l'ingénierie système.

L'approche trifonctionnelle force en quelque sorte à "raisonner informatique" ; le prix à payer est un dessèchement de la pensée et qui doit être compensé par un souci de rester au plus près du "concret". Elle se justifie d'autant plus que l'on parle de complexité et d'organisation logique de sociétés humaines.

Une autre approche de la complexité est d'utiliser des patterns, approche non retenue ici car il faut justifier la pertinence de chaque choix ; par exemple pourquoi quatre couches et pas cinq, pourquoi une marguerite, pourquoi un V pour un processus itératif, etc.