

**Le TEMPS  
pour faire**



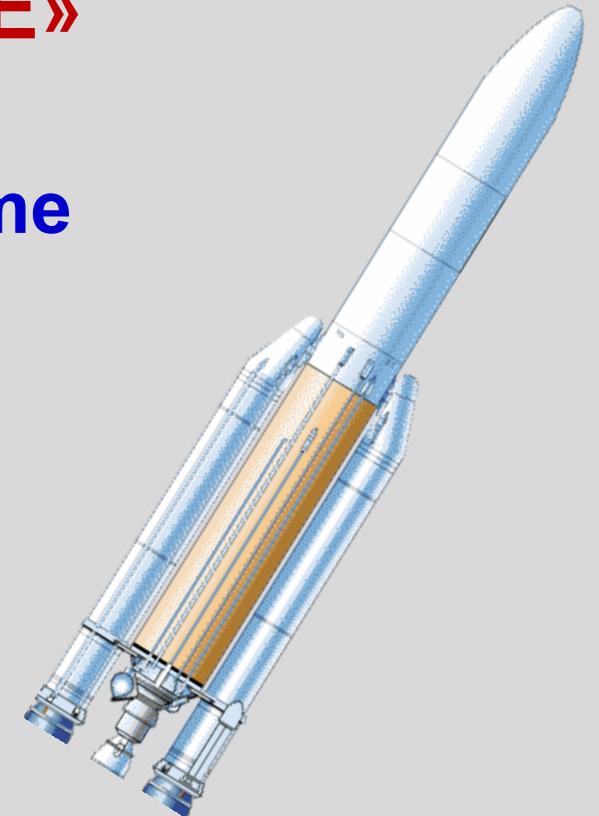
**le «SYSTEME POUR FAIRE»**

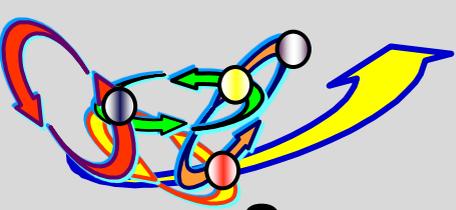
**60 siècles d'Ingénierie Système**



**Andé, 16-17 mai 2015**

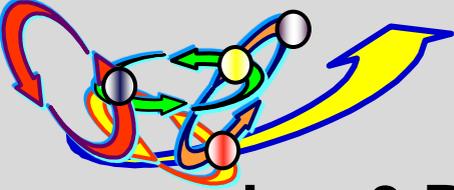
**Patrick FARFAL**





## Sommaire

- ❑ Les 3 Points de vue (« Views ») et leur cohérence
- ❑ Quizz : L'Ingénierie Système remonte à :
- ❑ Prémisses : Premières applications de l'Ingénierie Système
- ❑ Prémisses : Tâtonnements
- ❑ Prémisses : Un peu d'ordre
- ❑ Prémisses : Organisation
- ❑ Prémisses : Du sérieux : l'apport des mathématiques (géométrie...)
- ❑ Parlons-nous bien de la même chose ?
- ❑ L'Ingénierie Système aujourd'hui...
- ❑ L'accélération du temps pour faire le **SYSTÈME POUR FAIRE**
- ❑ Du temps... pour faire le **SYSTÈME POUR FAIRE**



# Les 3 Points de vue (« Views ») et leur cohérence

## Pyramide de James Martin – les « W »

**Why?**

*Pourquoi ? Pour Quoi ? Pour Qui ?*

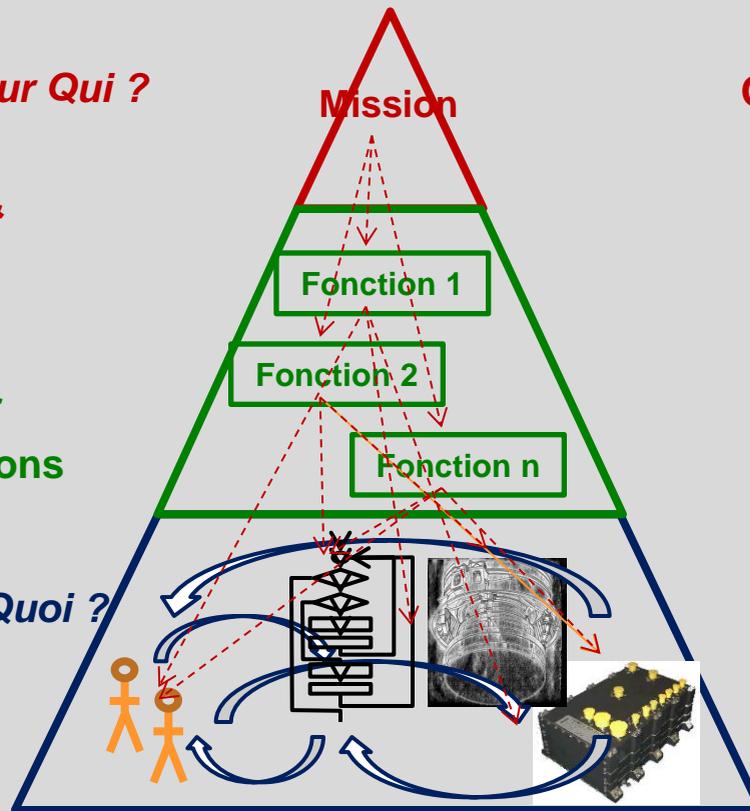
Service attendu  
IF avec Utilisateur & autres Systèmes

**What ? Quoi ?**

Fonctions à réaliser  
Echanges entre Fonctions

**How? Comment ? Avec Quoi ?**

Constituants  
ou Ressources  
& Interconnexions  
entre Ressources



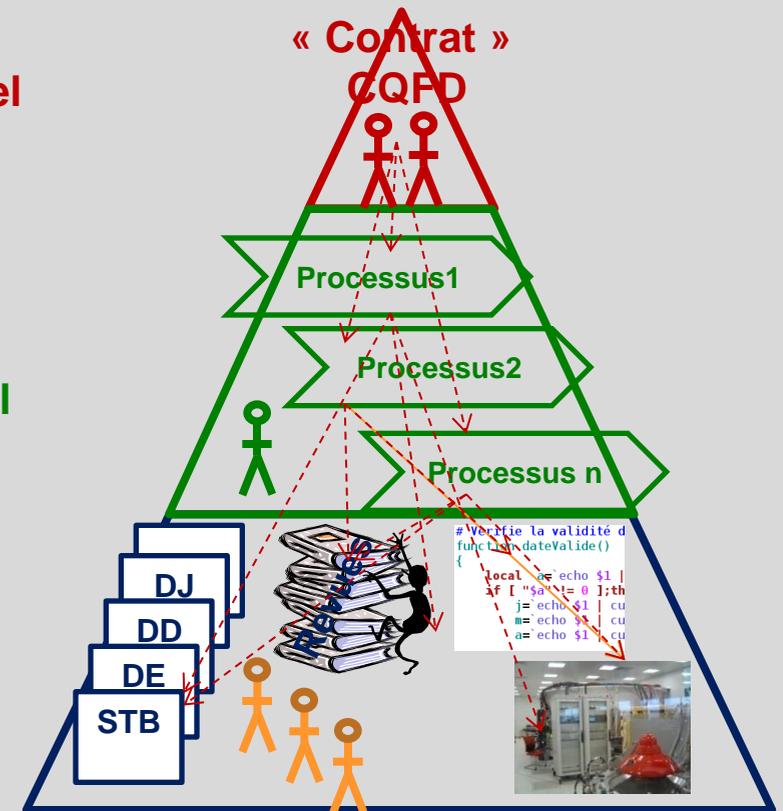
**Le Système A FAIRE**

**Niveau  
Opérationnel**

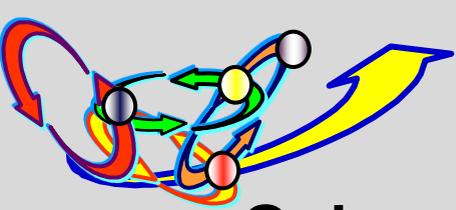
« Contrat »  
CQFD

**Niveau  
Fonctionnel**

**Niveau  
Organique**

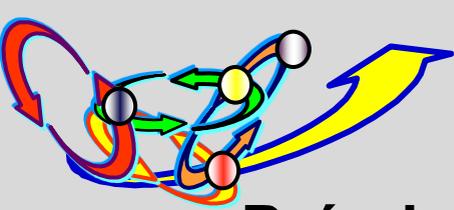


**Le Système POUR FAIRE**



## Quizz : L'Ingénierie Système remonte à :

- ❑ 1937 (Analyse du système de défense aérienne britannique par une équipe pluridisciplinaire) Vrai  Faux
  
- ❑ 1955 : début du Programme Polaris Vrai  Faux
  
- ❑ 1956 : SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) Air Defense System : MIT/Jay Forrester Vrai  Faux
  
- ❑ 1954 : début du Programme Sputnik Vrai  Faux
  
- ❑ 1961 : début du Programme Apollo Vrai  Faux
  
- ❑ 1991 puis 1994 (création de NCOSE puis INCOSE (International Council on Systems Engineering)) Vrai  Faux



## Prémises : Premières applications de l'Ingénierie Système

### □ Bâtiments

- **Première mention de la nécessité d'un langage commun ?**



« L'Éternel descendit pour voir la ville et la tour que bâtissaient les fils des hommes. Et l'Éternel dit : Voici, ils forment un seul peuple et ont tous une même langue, et c'est là ce qu'ils ont entrepris ; maintenant rien ne les empêcherait de faire tout ce qu'ils auraient projeté. Allons ! descendons, et là **confondons leur langue**, afin qu'ils n'entendent plus la langue les uns des autres. Et l'Éternel les dispersa loin de là sur la face de toute la terre ; **et ils cessèrent de bâtir la ville.** »

Genèse, XI, 1-9

### □ Navires

- **Arche de Noé (Arche de Utnapishtim) ?**

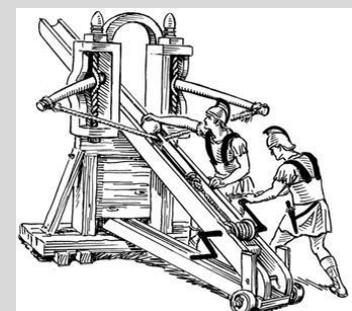
« déluge », cataclysme en Mésopotamie daté de ~ 4000 [\*]

#### **Première Spécification de Besoin ?**

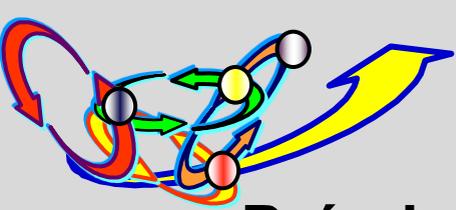
Genèse, VI, 14-16 : « Fais-toi une arche de bois résineux... Sa longueur sera de 300 coudées, sa largeur de 50... »

Epopée de Gilgamesh, verset 134, tablette XI : « Sa base était de 12 iku... » (~3500 m<sup>2</sup>)

- **Machines de guerre .../...**



[\*] La Bible arrachée aux sables, Werner Keller, 1962



## Prémises : Premières applications de l'Ingénierie Système - suite

### □ Machines de guerre

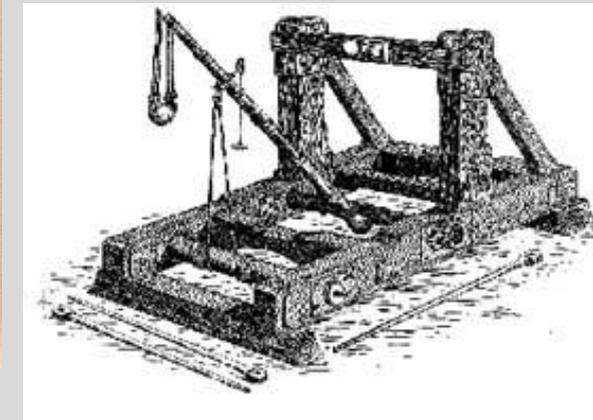
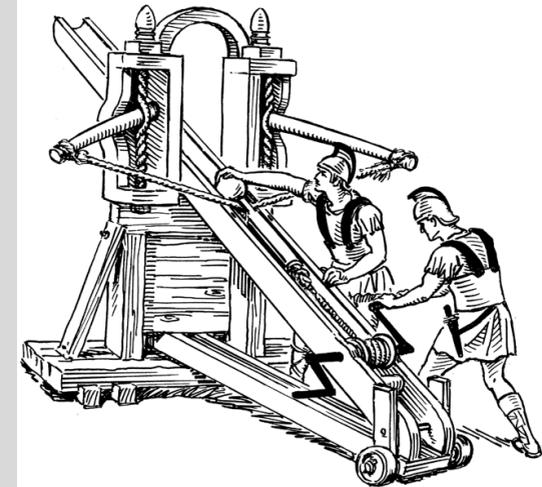
*Ingenium* = machine de guerre = engin [\*]



La plus ancienne représentation de véhicules dans un contexte militaire (XXVI<sup>e</sup> siècle, Ur)

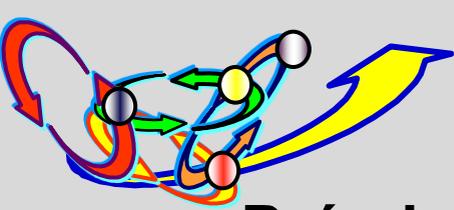


La plus ancienne représentation d'un souverain sur son char (Thoutmosis I<sup>er</sup>, - 1504 à - 1492)



[\*] on donnait le nom d'engin « à toute machine, d'où sont venus les mots *engineer*, *enginieur*, pour désigner l'homme chargé de la fabrication du montage et de l'emploi des machines » (Eugène Viollet-le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*)

D'où ingénieur : toute personne occupée à l'érection des ponts, au tracé des voies, à la construction des usines, des machines, des navires, des fortifications, etc., d'où aussi le nom de génie donné au corps (d'après *Wikipedia*)

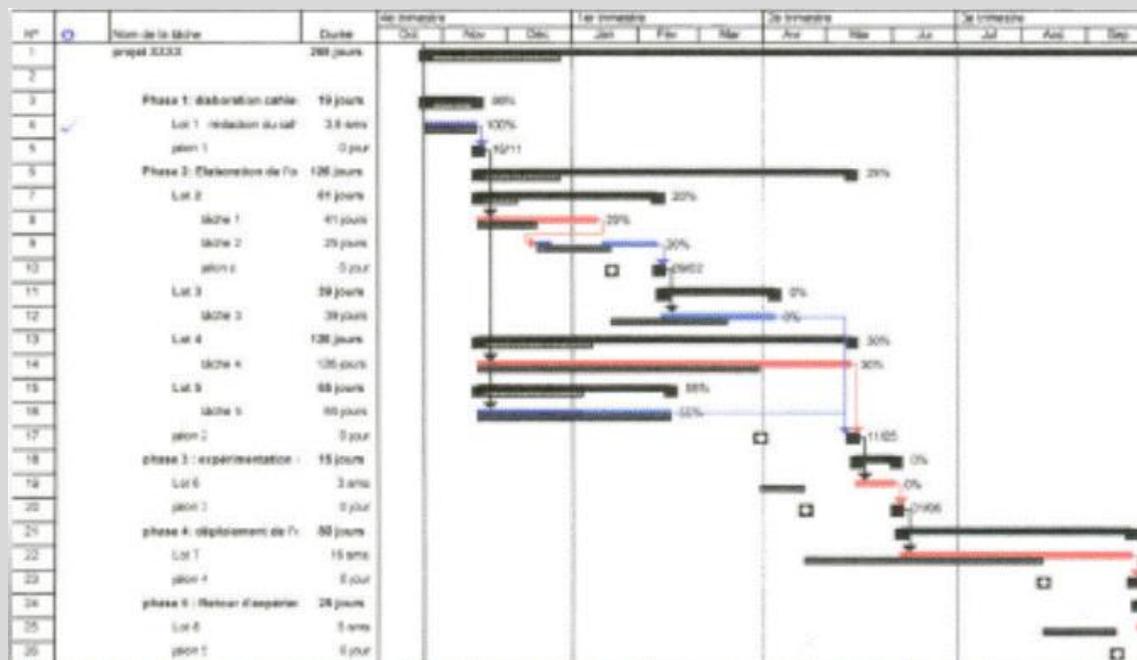


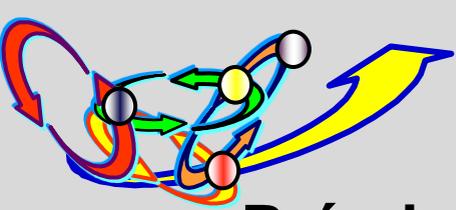
# Prémises : Premières applications de l'Ingénierie Système - suite

## □ Première mention de la nécessité d'une planification ?

*« Il y a un moment pour tout et un temps pour toute chose sous le ciel... un temps pour planter, et un temps pour arracher le plant... »*

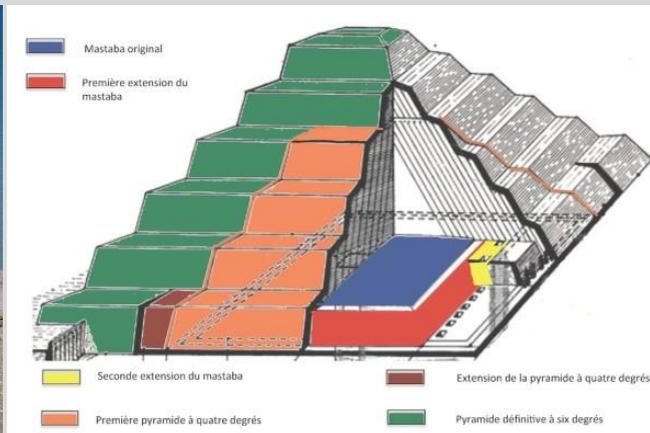
*Qohélet ou L'Ecclésiaste, III, 1-2 (rédaction : III<sup>e</sup> s. av. J.-C.)*



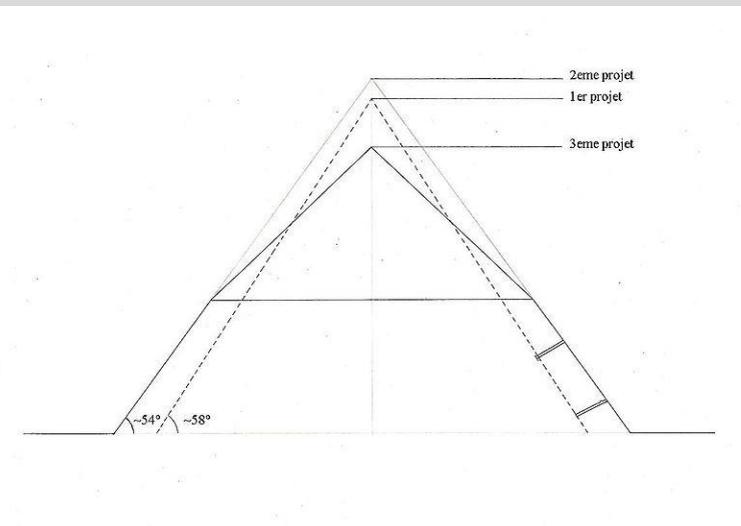


## Prémises : Tâtonnements

### Pyramides

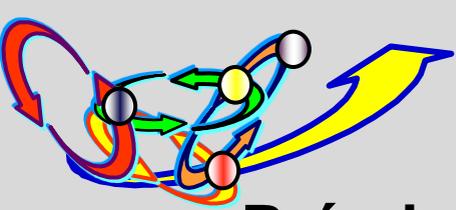


**Djoser (Saqqara), III<sup>e</sup> dynastie, ~ 2700/2600**  
**3 projets successifs**  
**Architecte-Ingénieur : Imhotep**



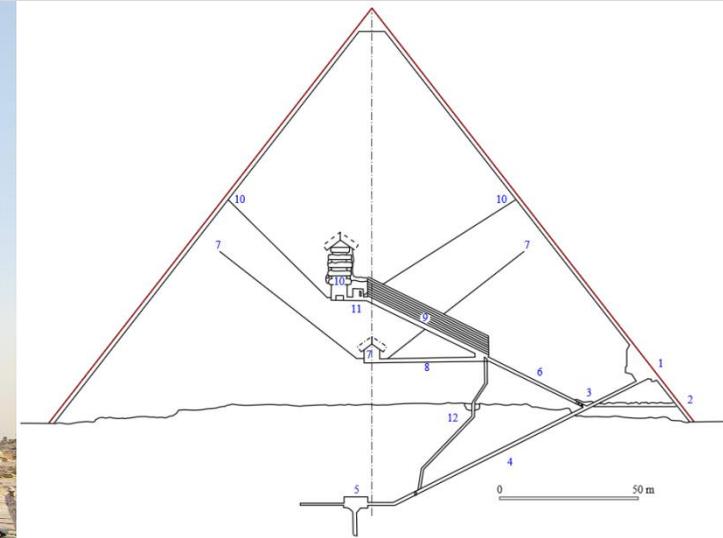
**Snefrou (rhomboïdale, Dahchour), IV<sup>e</sup> dynastie, 2670/2561 à - 2620/2538**  
**3 projets successifs**

**Modification de la pente ( $54^{\circ}28' = \text{arc tg } 7/5$  puis  $43^{\circ}21' = \text{arc tg } 17/18$ ) :**  
**Accélération de l'achèvement ? Crainte de contraintes excessives ?**  
**Signes avant-coureurs de rupture ?**



## Prémises : Tâtonnements

### Pyramides



Khéops, IV<sup>e</sup> dynastie, 2620/2538 à 2584/2516

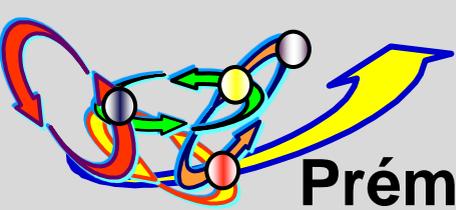
3 projets successifs

Pente  $51^{\circ}50'$  = arc tg 14/11

- « *Que doit faire l'homme pour créer le premier navire? La formule est bien trop compliquée. Ce navire naîtra, en fin de compte, de mille tâtonnements contradictoires.* »

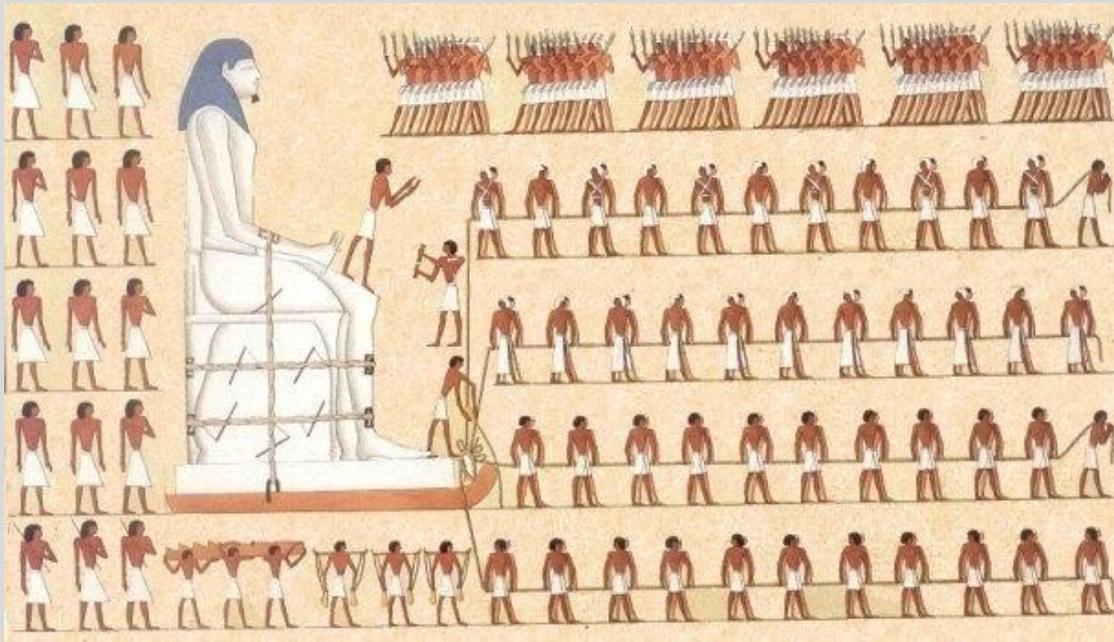
Antoine de Saint-Exupéry, *Pilote de guerre*, 1947

**C'est encore vrai !**



# Prémises : Organisation

## Equipes pluridisciplinaires

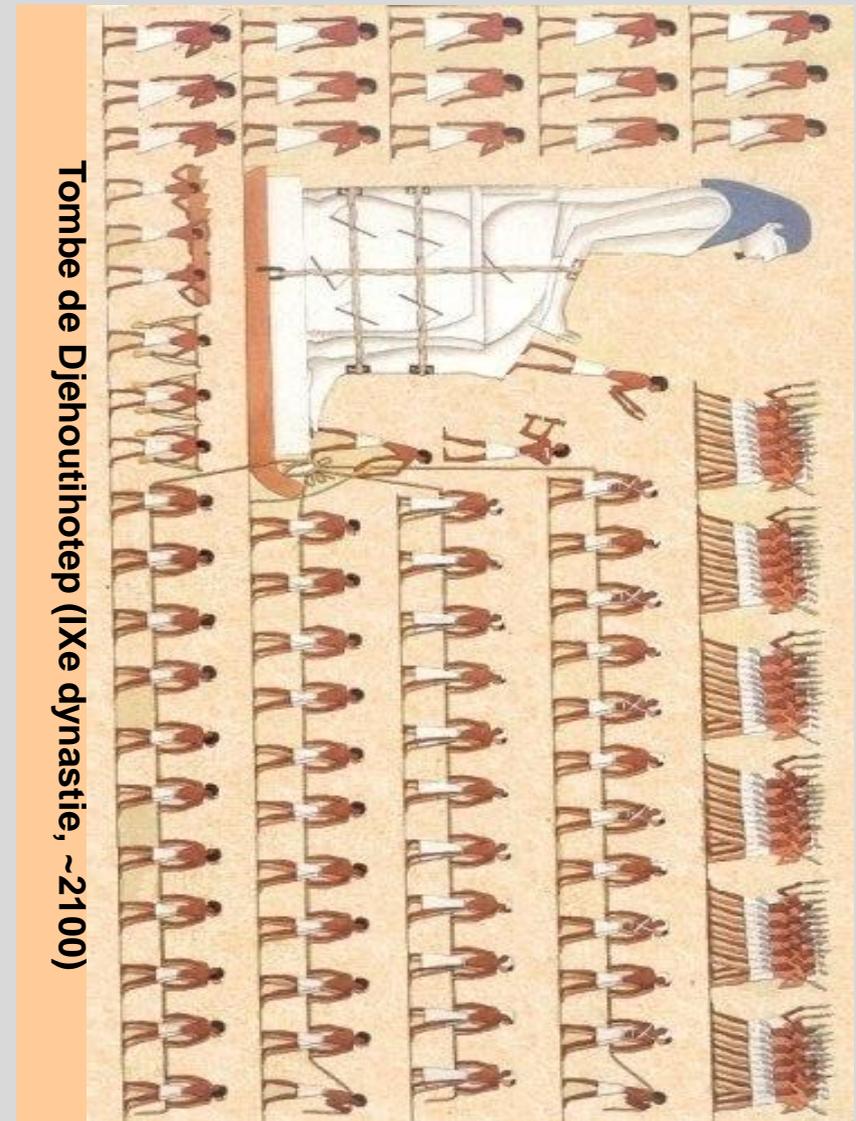


Tombe de Djehoutihotep (IX<sup>e</sup> dynastie, ~2100)

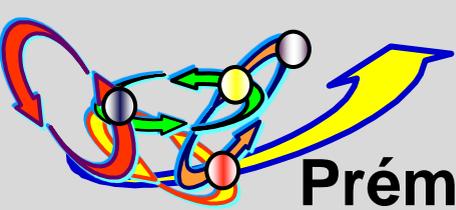
## VS

« **DANS SON LABORATOIRE, MALGRÉ L'HEURE TARDIVE, LE PROFESSEUR MORTIMER, INVENTEUR D'UN ENGIN MYSTÉRIEUX, SURNOMMÉ L'ESPADON, TRAVAILLE.** »

**Le Secret de l'Espadon, T. 1,  
Edgar Félix Pierre JACOBS**

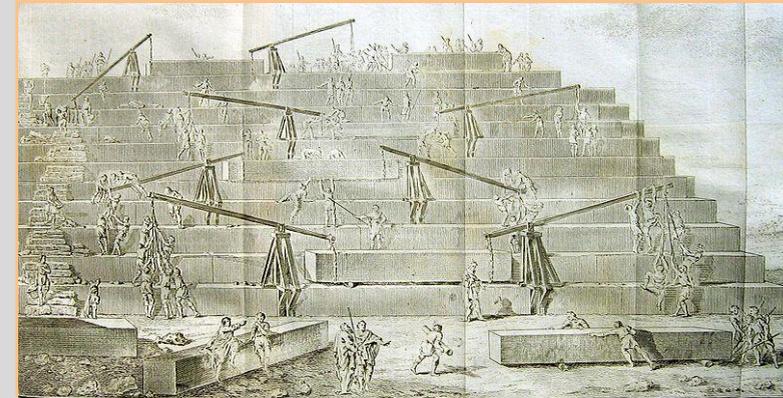


Tombe de Djehoutihotep (IX<sup>e</sup> dynastie, ~2100)



## Prémises : Organisation

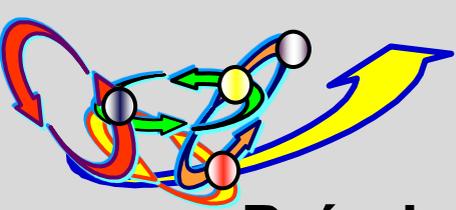
- ❑ **Equipes pluridisciplinaires**



**Construction d'une pyramide**



**Construction d'un char égyptien  
(tombe d'Aba, VII<sup>e</sup> s. av. J.- C., XXVI<sup>e</sup> dynastie)**



## Prémises : Un peu d'ordre

### ❑ Les 3 composantes de Vitruve (Marcus Vitruvius Pollio, ~- 90 à ~- 20, *De Architectura*)

#### ➤ *Firmitas* (solidité)

**les performances, la robustesse**

#### ➤ *Utilitas* (utilité)

**la finalité, la fonction**

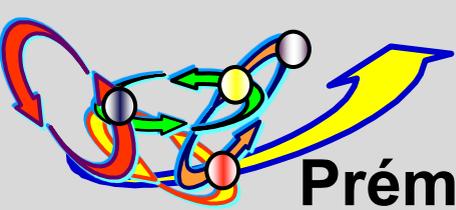
#### ➤ *Venustas* (beauté)

**« Il semble que le travail des ingénieurs, des dessinateurs, des calculateurs du bureau d'études ne soit en apparence que de polir et d'effacer, d'alléger ce raccord, d'équilibrer cette aile, jusqu'à ce qu'on ne la remarque plus, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus une aile accrochée à un fuselage, mais une forme parfaitement épanouie, enfin dégagée de sa gangue, une sorte d'ensemble spontané, mystérieusement lié, et de la même qualité que celle du poème. **Il semble que la perfection soit atteinte non quand il n'y a plus rien à ajouter, mais quand il n'y a plus rien à retrancher.** »**

**Antoine de Saint-Exupéry, *Terre des hommes*, ch.III, 1939**

**« *Un avion qui n'est pas beau vole mal.* »**

**Marcel Dassault**



# Prémises : Du sérieux : l'apport des mathématiques (géométrie...)

## □ Cathédrales (XI<sup>e</sup> – XIII<sup>e</sup> s.)

- Dossiers de définition
- Maquettes échelle 1



Crypte de la cathédrale  
Saint-Etienne de Bourges  
1195 - 1324



## □ Filippo Brunelleschi (1377 à 1446)

- Inventeur de la perspective (géométrie)
- Architecte du dôme de la cathédrale (Duomo) de Florence  
« diamètre » 42,2 m > Saint-Pierre de Rome > Saint-Paul  
Londres > Capitole Washington



« convainc » ses commanditaires du bien-fondé de son projet par son dossier de calcul !

⇒ 1<sup>er</sup> Dossier d'étude ?

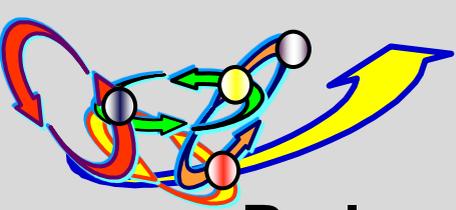
1<sup>er</sup> Dossier Justificatif ?



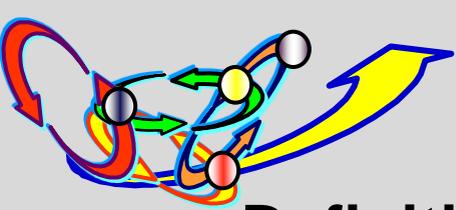
chaînette + spina pesca



Santa Maria del Fiore



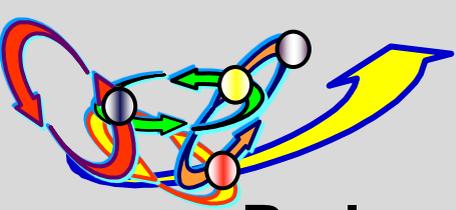
**Parlons-nous bien de la même chose ?**



## Definition and origin of Systems Engineering

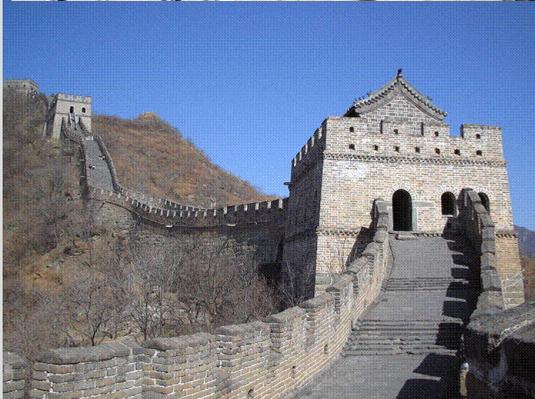
- ❑ How was the Great Wall built?
- ❑ Thanks to some kind of Systems Engineering!





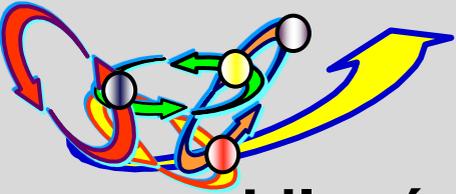
## Parlons-nous bien de la même chose ?

- ❑ **Systèmes comparables**
- ❑ **Confirmé par le vocabulaire d'aujourd'hui**  
*Architecture système, Etages d'un lanceur, Etages des petits systèmes que sont un amplificateur électronique, une turbine*
- ❑ **Imhotep (pyramide de Djeser, XXVIII<sup>e</sup> siècle) considéré comme ingénieur et architecte**
- ❑ **Mais complexités très différentes !**



⇒ **SYSTÈMES POUR FAIRE TRÈS DIFFÉRENTS**

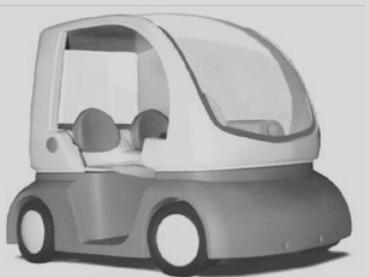
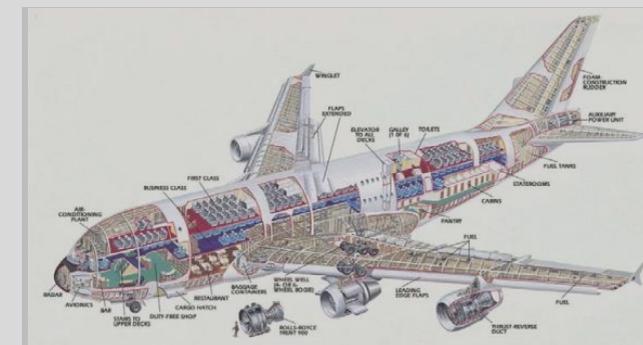
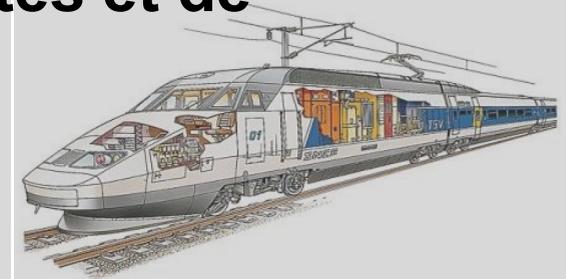




# L'Ingénierie Système aujourd'hui... s'applique à une multitude de Systèmes de finalités et de technologies très différentes

« *Partout, autour de nous, des systèmes.* »

**Karl Ludwig von Bertalanffy (1901-1972)**  
*General System Theory*



**Automobile**



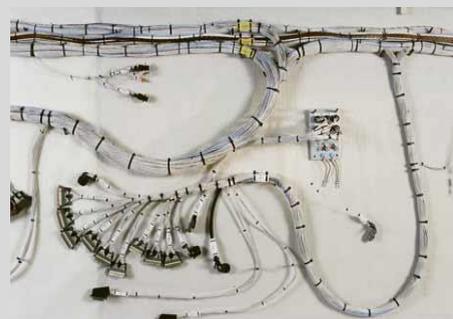
**Boîte de vitesses automatique  
d'une Lexus IS**



**Tuyauterie d'un  
pétrolier-chimiquier**



**Système  
d'information**



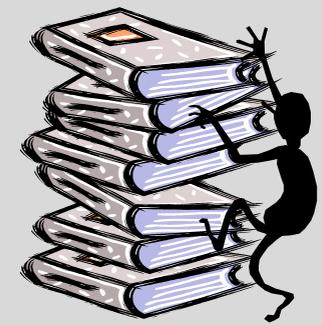
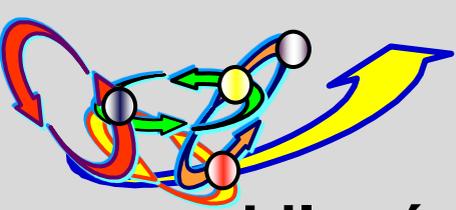
**Câblage avion**



**Centrale nucléaire de Cruas**

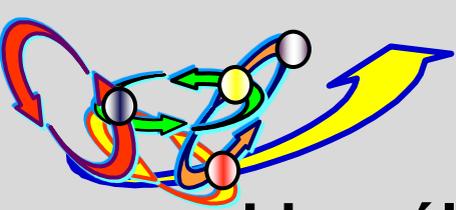


**System on chip**



## L'Ingénierie Système aujourd'hui...

- ❑ 1990-2000 : SE Standards IEEE 1220, EIA-IS 632
- ❑ NASA MSFC-HDBK-3173, May 30, 2001, George C. Marshall Space Flight Center, Alabama 35812 - VS10 : MULTIPROGRAM/PROJECT COMMON-USE DOCUMENT - PROJECT MANAGEMENT AND SYSTEM ENGINEERING HANDBOOK
- ❑ NASA Systems Engineering Handbook, Shisko R., 1995
- ❑ NASA MSFC-HDBK-3173, May 30, 2001, George C. Marshall Space Flight Center, Alabama 35812 - VS10 : MULTIPROGRAM/PROJECT COMMON-USE DOCUMENT - PROJECT MANAGEMENT AND SYSTEM ENGINEERING HANDBOOK
- ❑ Systems Engineering Fundamentals, January 2001 - Supplementary text prepared by the Defense Acquisition University Press, Fort Belvoir, Virginia, 22060-5565
- ❑ International Council on Systems Engineering - SE Handbook Working Group - SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK - A "WHAT TO" GUIDE FOR ALL SE PRACTITIONERS - INCOSE-TP-2003-016-02, Version 2a, 1 June 2004
- ❑ National Airspace System (FAA), System Engineering Manual, Version 3.1, 06/06/06, Chapter 2
- ❑ INCOSE SE Handbook: a guide for System Life Cycle Processes and Activities V3 (june 2006)
- ❑ INCOSE (International Council on Systems Engineering) -TP-2003-002-03.1, August 2007, INCOSE Systems Engineering Handbook v. 3.1
- ❑ ECSS-E-ST-10 C System engineering general requirements - Third issue, 06 March 2009
- ❑ ECSS-E-ST-10-02C Verification - Second issue, 06 March 2009
- ❑ ECSS-E-ST-10-06C Technical requirements specification -Third issue, 06 March 2009



# L'accélération du temps pour faire le **SYSTÈME POUR FAIRE**



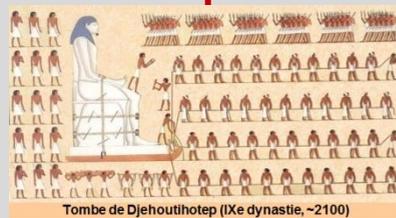
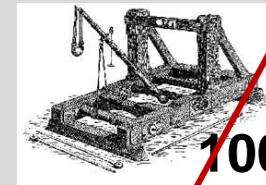
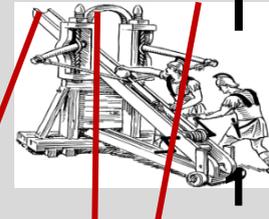
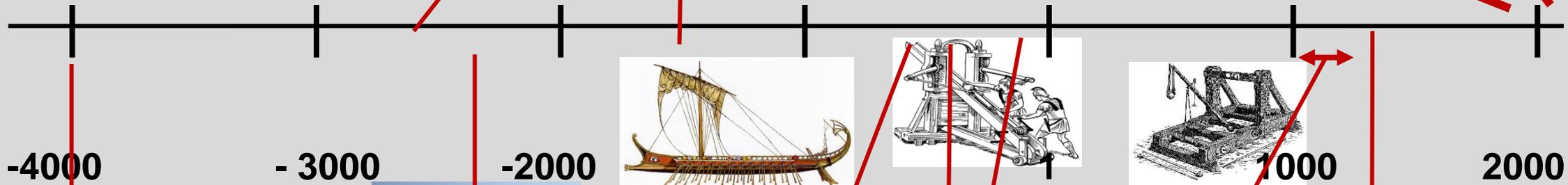
Découverte empirique progressive des principes de la statique, de la flottabilité, découverte des interactions

Polaris

SAGE

Apollo

INCOSE



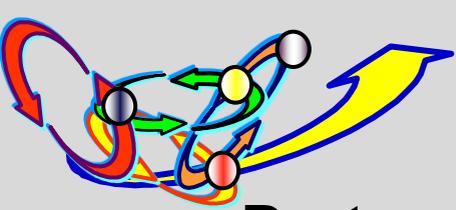
**1<sup>ère</sup> spécification technique ?**

**Organisation, Equipes pluridisciplinaires**

**1<sup>ers</sup> calculs  
1<sup>ers</sup> dossiers de définition**

**1<sup>er</sup> dossier d'étude/  
dossier justificatif ?**

**Vitruve : Finalité, Fonctions, Performances**



## Du temps... pour faire le **SYSTÈME POUR FAIRE**

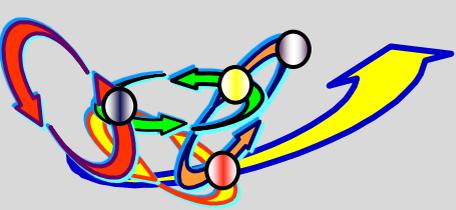
- Il en a fallu...

... 60 siècles ? plus ?

... pour que l'on mette en place un « **Système pour faire** »

- Il a fallu aussi éprouver la nécessité d'une Ingénierie Système adaptée aux systèmes complexes que sont maintenant les Systèmes artificiels (et notamment les systèmes « ingénierés » - *engineered Systems*)

Nécessité fait loi...



❑ **Merci de votre attention**



**Imhotep  
XXVIIIe s.**



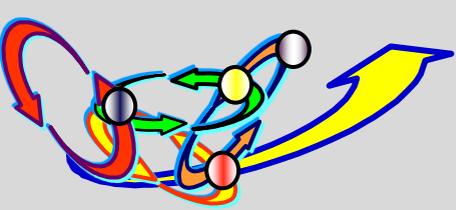
**Vitruve  
Marcus Vitruvius Pollio  
~:90 à ~:20**

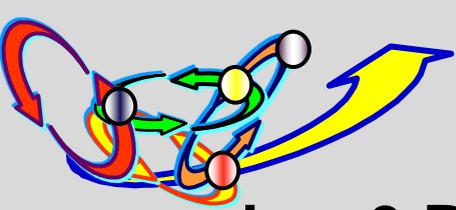


**Filippo Brunelleschi  
1377-1446**



**Jay Wright Forrester  
1918 -**





# Les 3 Points de vue (« Views ») et leur cohérence

## Pyramide de James Martin – les « W »

**Why?**

**Pourquoi ? Pour Quoi ? Pour Qui ?**

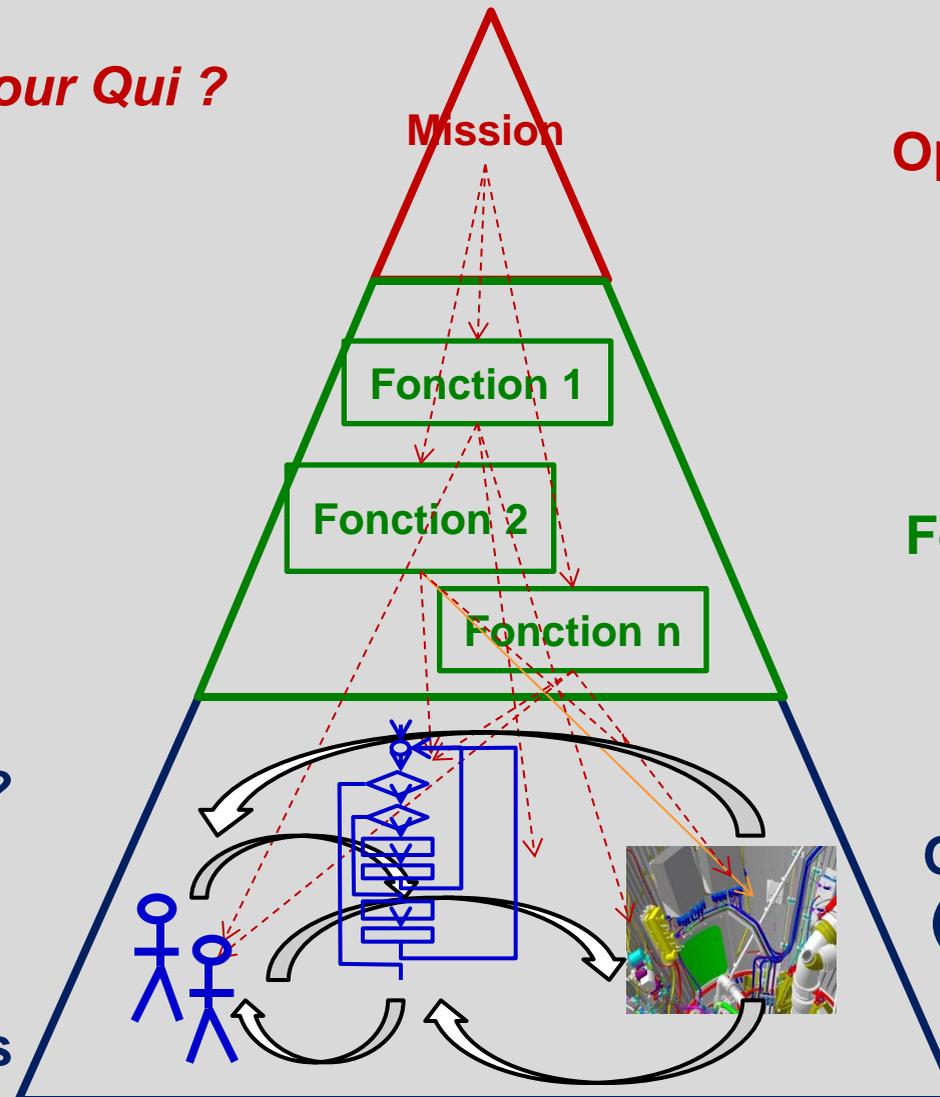
**Service attendu  
IF Utilisateur &  
autres Systèmes**

**What ? Quoi ?**

**Fonctions  
à réaliser  
Echanges  
entre Fonctions**

**hoW? Comment ?**

**Avec quoi ?  
Constituants  
ou Ressources  
& Interconnexions  
entre Ressources**



**Niveau  
Opérationnel**

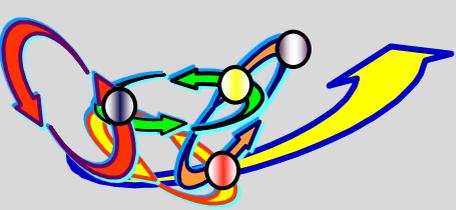
**Scenarii d'emploi  
Schémas  
contextuels  
Modèles de haut  
niveau**

**Niveau  
Fonctionnel**

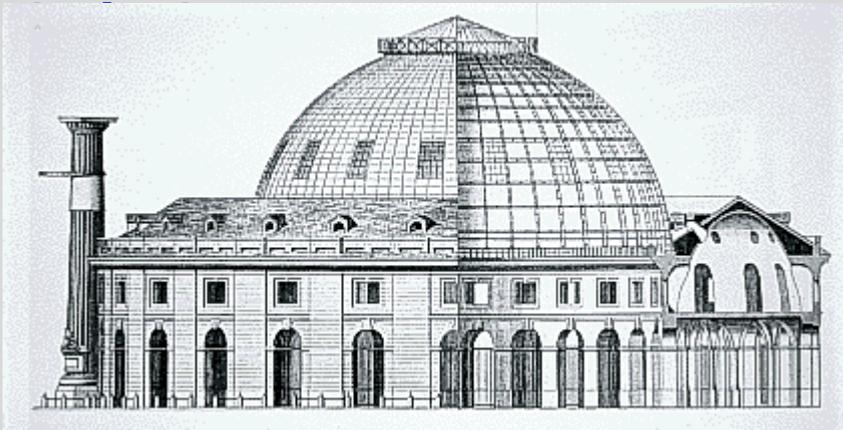
**Diagrammes  
fonctionnels  
Flux**

**Niveau  
Organique  
(matériel,  
logiciel,  
humain)**

**Diagrammes  
physiques  
Définition des  
Interfaces**



- ❑ Avec ses 42,2 m de diamètre, sa largeur est quasiment l'équivalent de celui de la coupole sphérique du Panthéon de Rome (43,4m) et son diamètre ne sera que légèrement dépassé en 1765 par la Halle aux Blés de Paris (44m). Ni la basilique Saint-Pierre de Rome (42m), ni le dôme des Invalides (27,5m) ni la cathédrale Saint-Paul de Londres (30,7m), ni même la coupole (en métal) du Capitole de Washington D.C. ne le dépassent.
- ❑ Halle aux Blés Paris 44 m > Panthéon Rome 43,4 m > Duomo Florence > Saint-Pierre 42 m > Saint-Paul Londres 30,7 m > Congrès Washington



La halle aux blés à Paris (actuelle bourse de commerce) après les travaux de Legrand et Molinos  
Date : entre 1782 et 1806