



Les concepts de l'ingénierie et de l'intégration des systèmes

Systemes et processus d'Ingénierie Systemes

Yann Pollet

Conservatoire National des Arts et Métiers

Chaire d'intégration des systèmes

« Complexité » des systèmes

Maîtrise de l'infra-structure socio-technologique actuelle \Rightarrow systèmes de plus en plus complexes

\Rightarrow **Complexité, cycle de vie long, haute spécificité, réalisation en petites quantités**

Défis multiples :

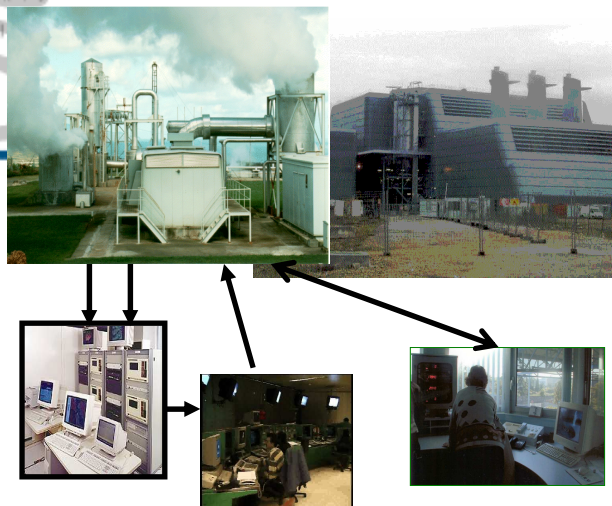
- Réalisation par intégration de composants hétérogènes
- estimation des coûts de développement et d'exploitation
- pilotage d'un projet complexe
- maîtrise de la maintenance et des évolutions,



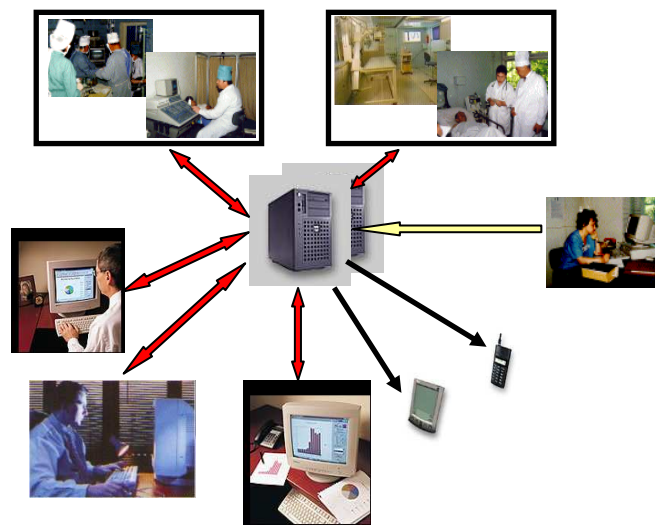
Métier de l'ingénierie et intégration de systèmes:

- Architecte-concepteur \Rightarrow *dimension technique*
- Réalisation dans le cadre contractuel d'un projet \Rightarrow *dimension « managériale »*

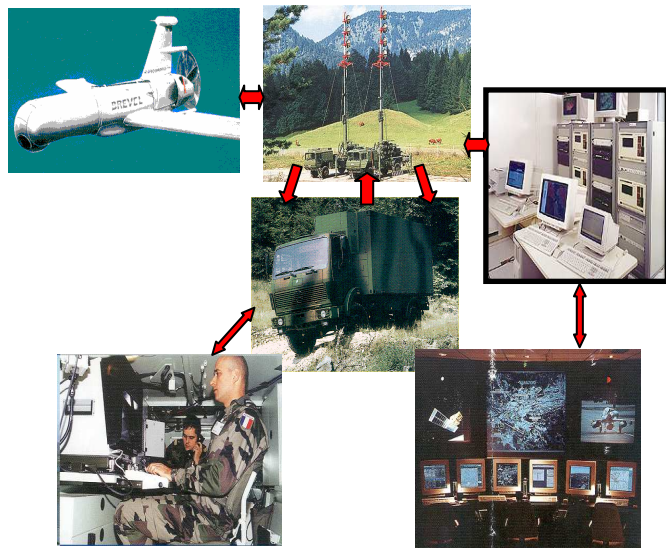
Exemples...



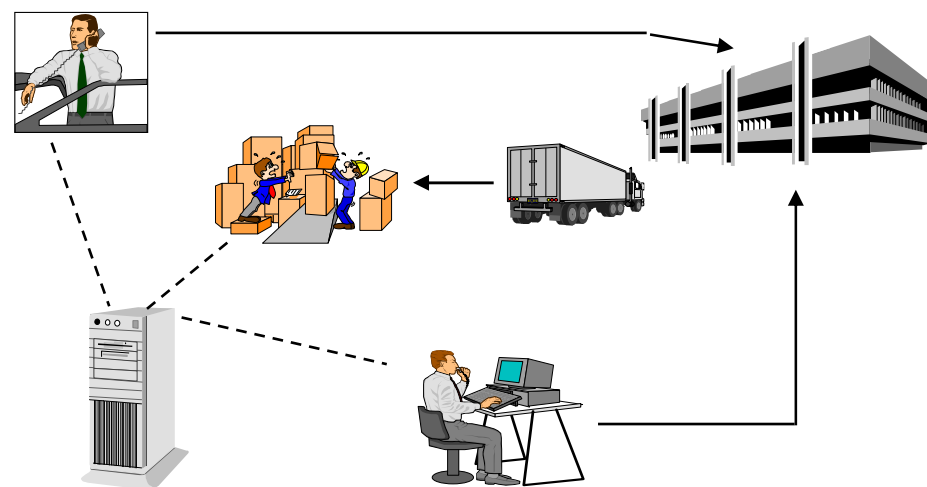
Système de conduite industriel



Système de santé régional



Système d'observation



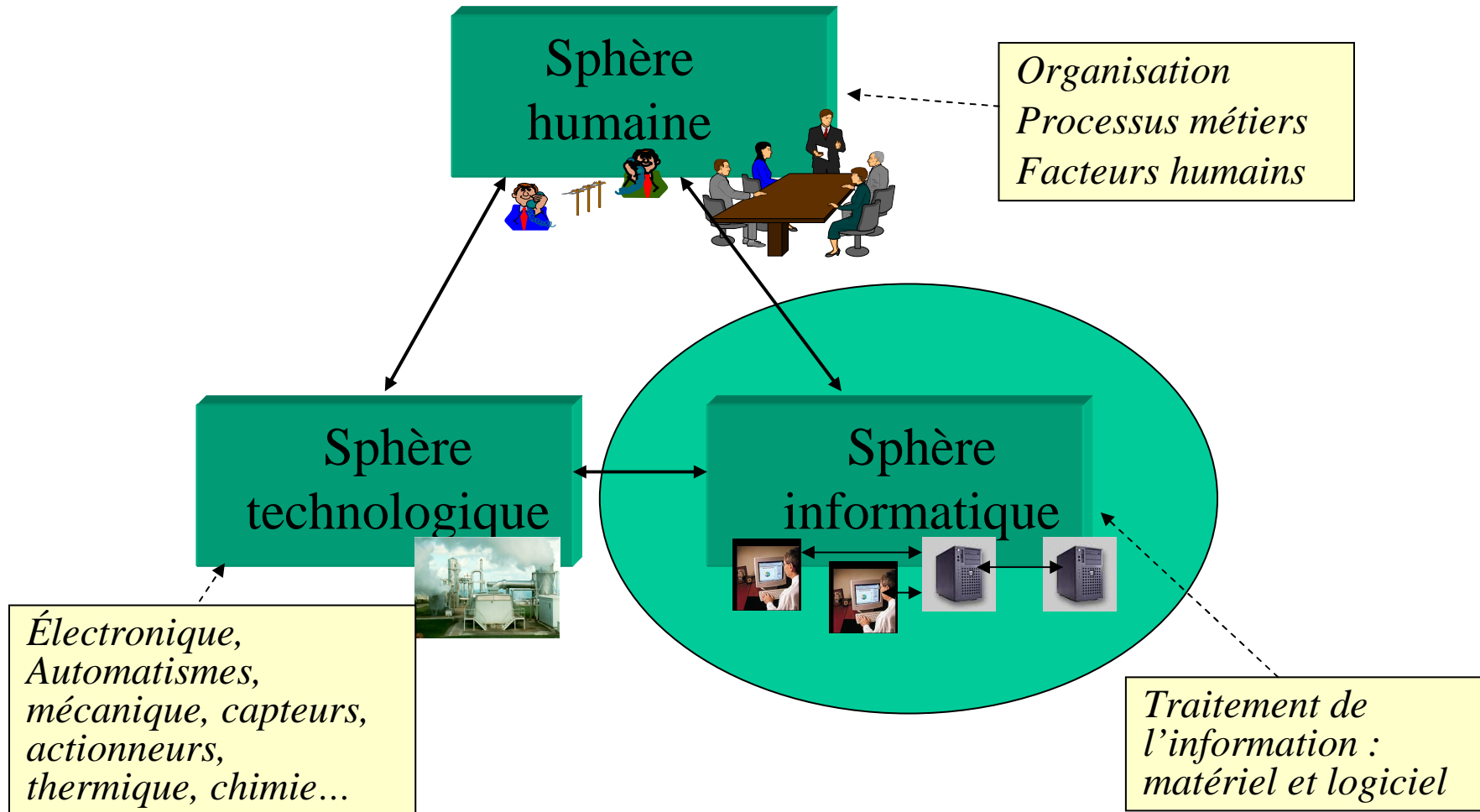
« Entreprise étendue »

Les systèmes : autres exemples

- Système de conduite de production industrielle
- Système de transport automatique
- Système de communication par satellites
- Systèmes de gestion de la relation client
- Pilote automatique d'un avion
- Réseau de monétique
- Réseau de surveillance et de prévision
- Informatique embarquée dans une automobile
- Centrale nucléaire
- Système d'Information et de Communication
- Système d'information d'entreprise multi-sites
- Annuaire électronique

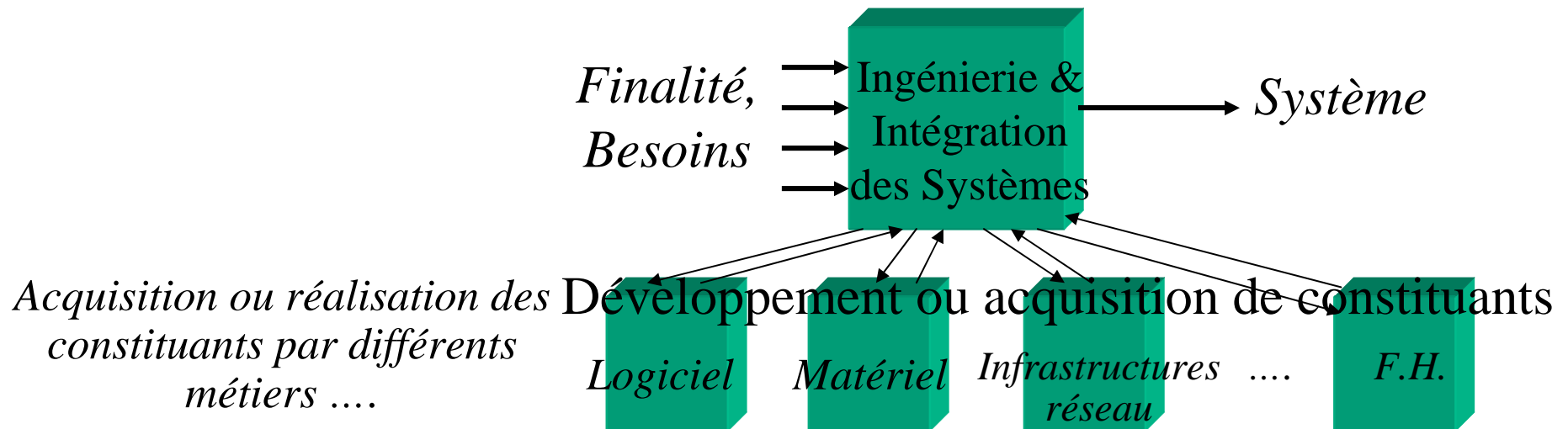


Les Systèmes à Logiciel Prépondérant



Qu'est ce que l'Ingénierie et Intégration de Système ?

- Une démarche générique
- développement des systèmes complexes dans le respect de **Fonctionnalités** attendues, de **Coût**, **Délai**, et **Qualité**
- ensemble de **concepts**, d'**approches**, de **modèles**, de **standards**
 - S'applique à tous les types de système (systèmes technologiques, informatique d'entreprise, ...)
 - Vise à l'intégration de technologies multiples et hétérogènes
 - Adresse le processus de conception de système par intégration de diverses technologies, non les technologies elles-mêmes



Le métier d 'Ingénierie / Intégration de Systèmes

« *Concevoir et réaliser des systèmes à dominante informatique par intégration :*

- de matériels et logiciels spécifiques*
- de matériels et logiciels standards*
- de matériels non informatiques*

en vue de fournir à des utilisateurs un système intégré dans un environnement, répondant aux besoins exprimés, et accompagné des services nécessaires à leur mise en œuvre »

Références en Ingénierie des Systèmes

- Site de l'AFIS (Association Française d'Ingénierie Systèmes)
: www.afis.fr
 - Synthèses, groupes de travail, liens, ...
 - « Découvrir et comprendre l'Ingénierie Système »
- Site de l'INCOSE (International Council on System Engineering) : www.incose.org
 - Connaissances et pratiques de références (SE « Body of Knowledge »)
- Des ouvrages de synthèse :
 - « Ingénierie et Intégration des Systèmes », J.P. Meinadier (Hermès)
 - « Le métier de l'Intégration des Systèmes », J.P. Meinadier (Hermès)
 - « Systems engineering. Coping with complexity ».. R. Stevens, K. Jackson, P. Brooks, S. Arnold (Pearson, Prentice Hall)
 - nombreux autres ouvrages en langue anglaise...

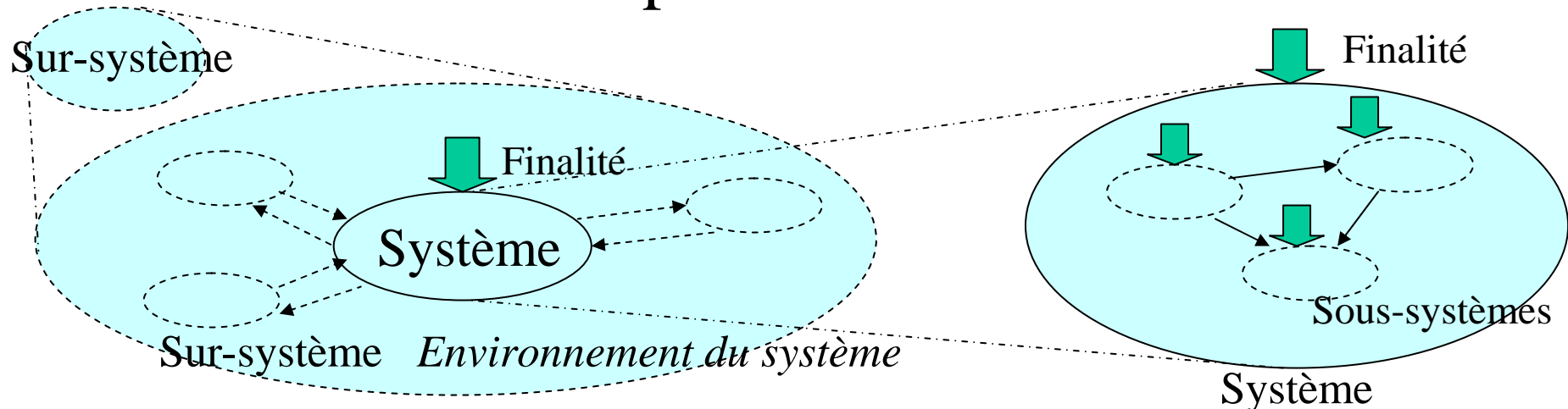
Du système au projet....

Les fondamentaux de l'I.S.

- ⇒ Qu'est ce qu'un système?
- ⇒ Systèmes, finalité, pilotage, temps, ...
- ⇒ Aspects structurels d'un système
- ⇒ Le « système projet »

Points de vue interne et externe

- Approche externe = boîte noire \Rightarrow Le système est dans un *environnement*
 - Le système a une *finalité* (« *pour quoi?* »)
 - Le système fournit des *services* à l'environnement
- Approche interne = boîte blanche
 - \Rightarrow le contenu représente une « solution »



Qu 'est-ce qu 'un système?

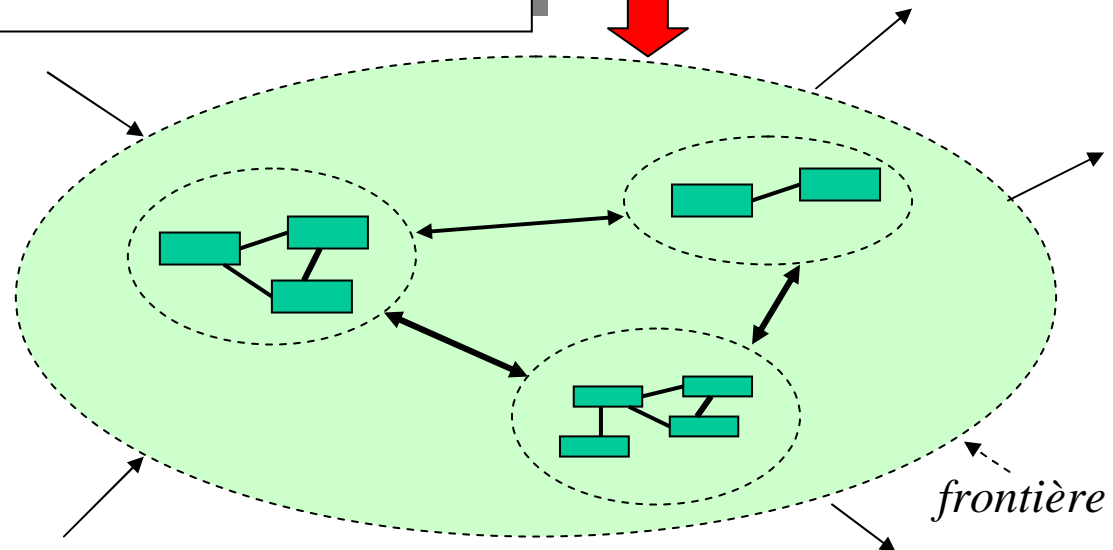
Notion de système

Ensemble **composite** constitué de personnels, de matériels, de logiciels, de procédures en **interaction** mutuelle dans un **environnement** donné organisés pour répondre à un **besoin** correspondant à une certaine **finalité**

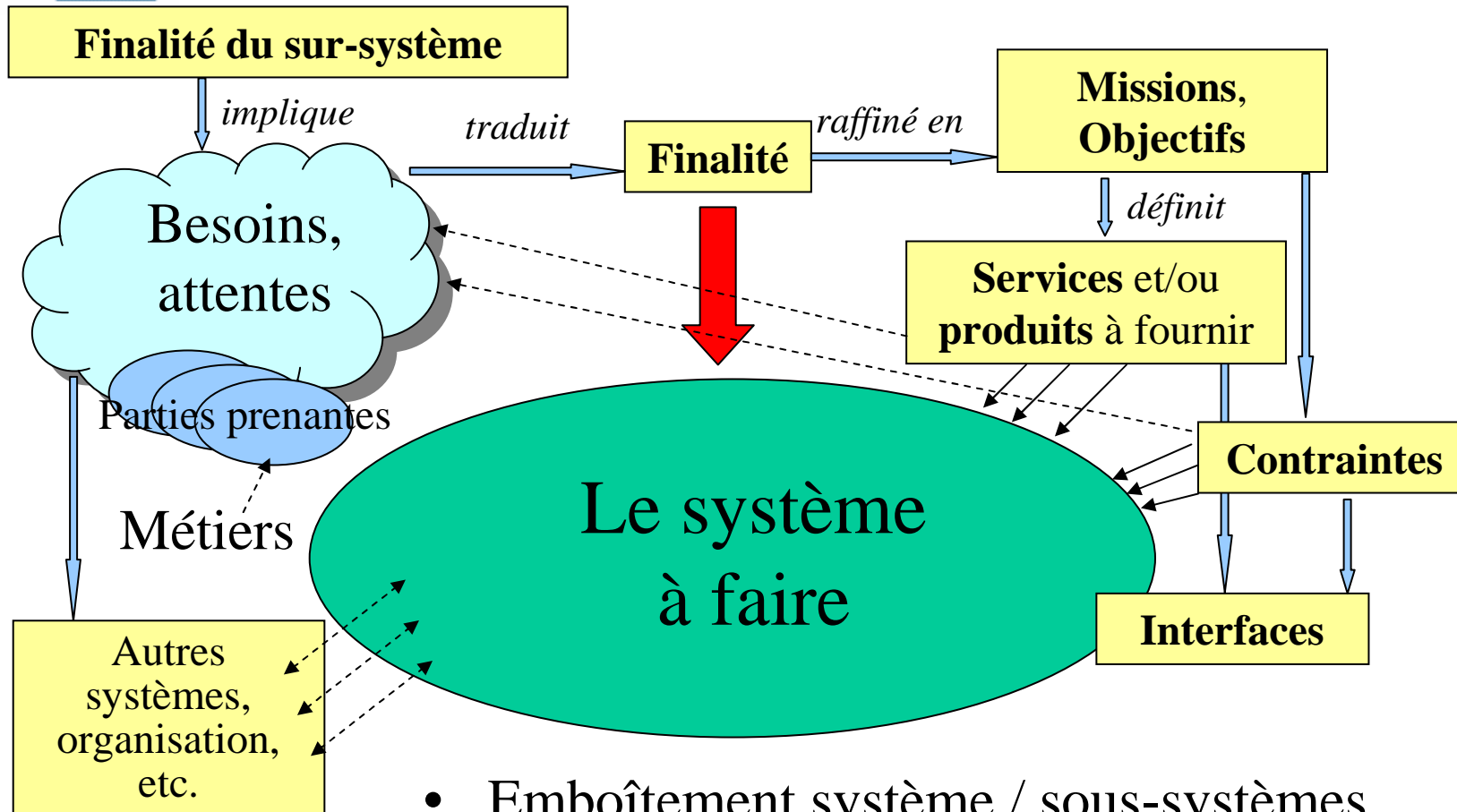
- Complexité technique
- propriétés « émergentes »
- hétérogénéité
- complexité humaine

finalité

- Ensemble d'éléments (*sous-systèmes* ou *composants*)
- Ensemble d'interactions *internes*
- Ensemble d'interactions *externes*
- Ensemble de *buts*

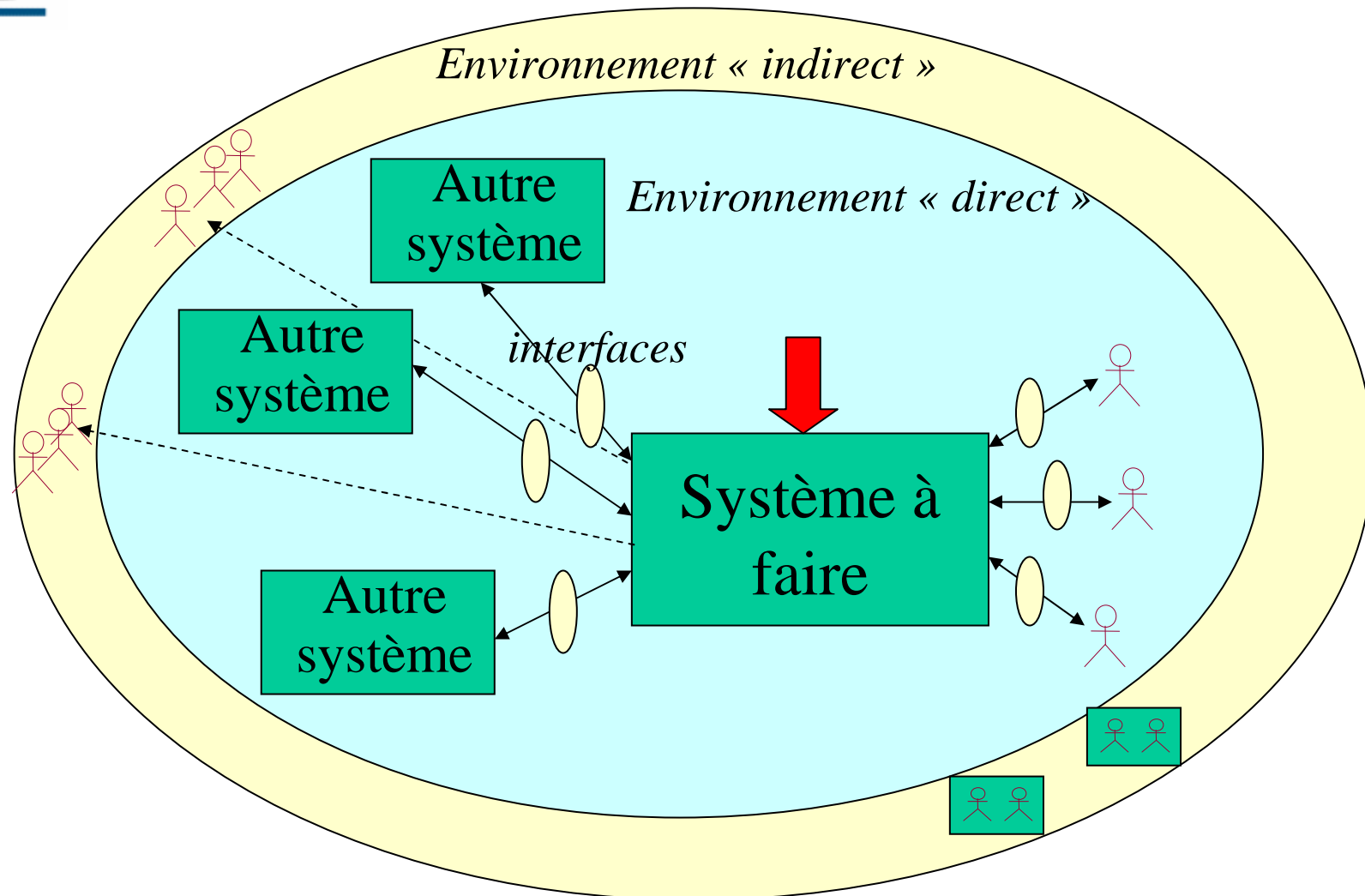


La vision externe



- Emboîtement système / sous-systèmes
- Récursivité de la démarche (MOA1, MOA2, ..., MOE, réalisation)

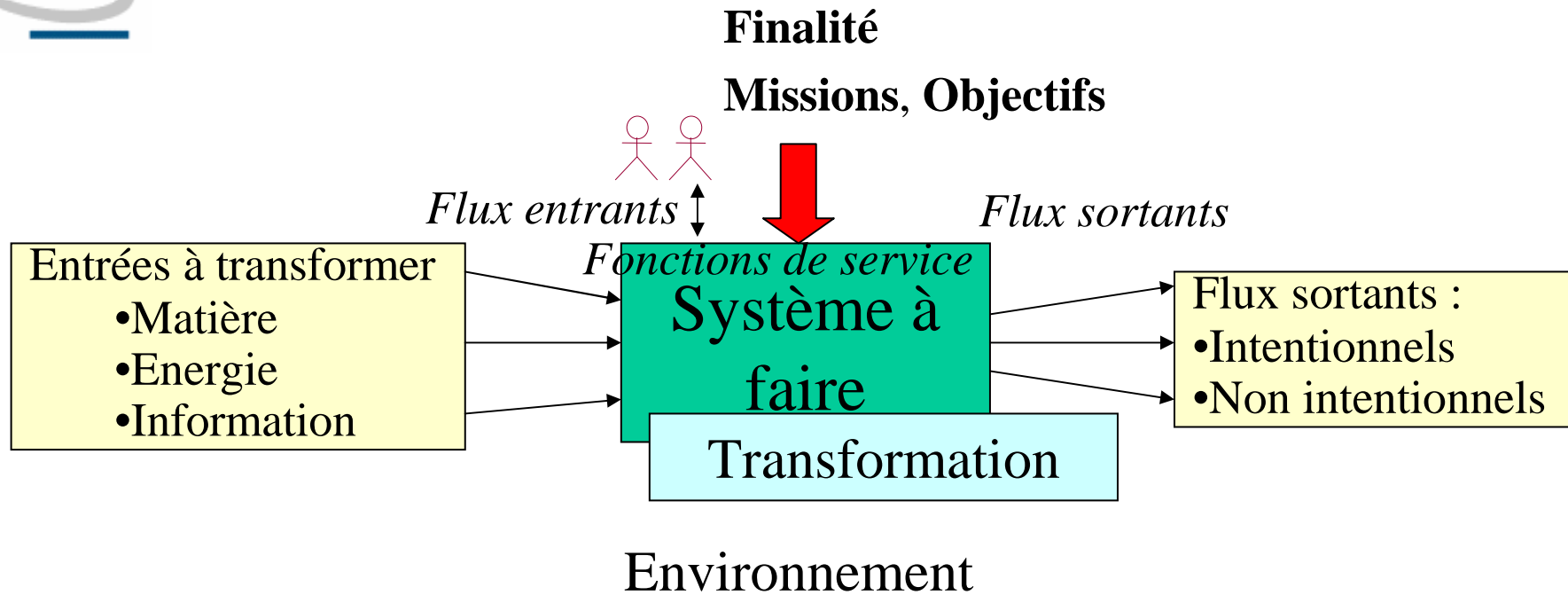
Le système et son environnement



Le système et son environnement (2)

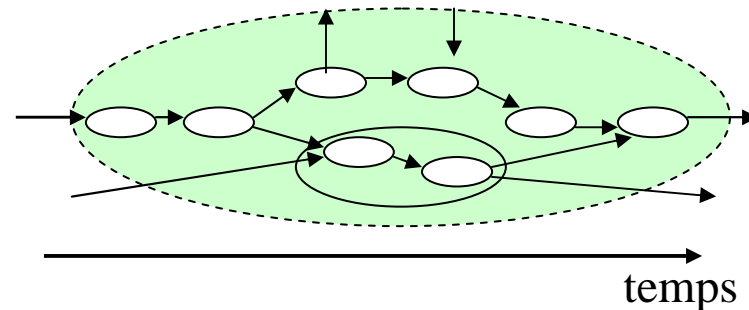
- *Environnement* : tout ce qui est susceptible d'influencer le système ou d'être influencé par lui
- Environnement *direct* :
 - Humains (« usagers ») : utilisateurs *actifs*, *passifs*, *exploitants*, autres (opérateurs de MCO,) ⇒ Fonctions de service
 - autres systèmes
 - environnement physique (capture, action)
 - Le système s'intègre dans son environnement via des *interfaces* et en fournissant des *services*
- Environnement *indirect*
 - respect de contraintes (réglementaires, de sécurité, d'environnement, ...)

Le système et son environnement (3)

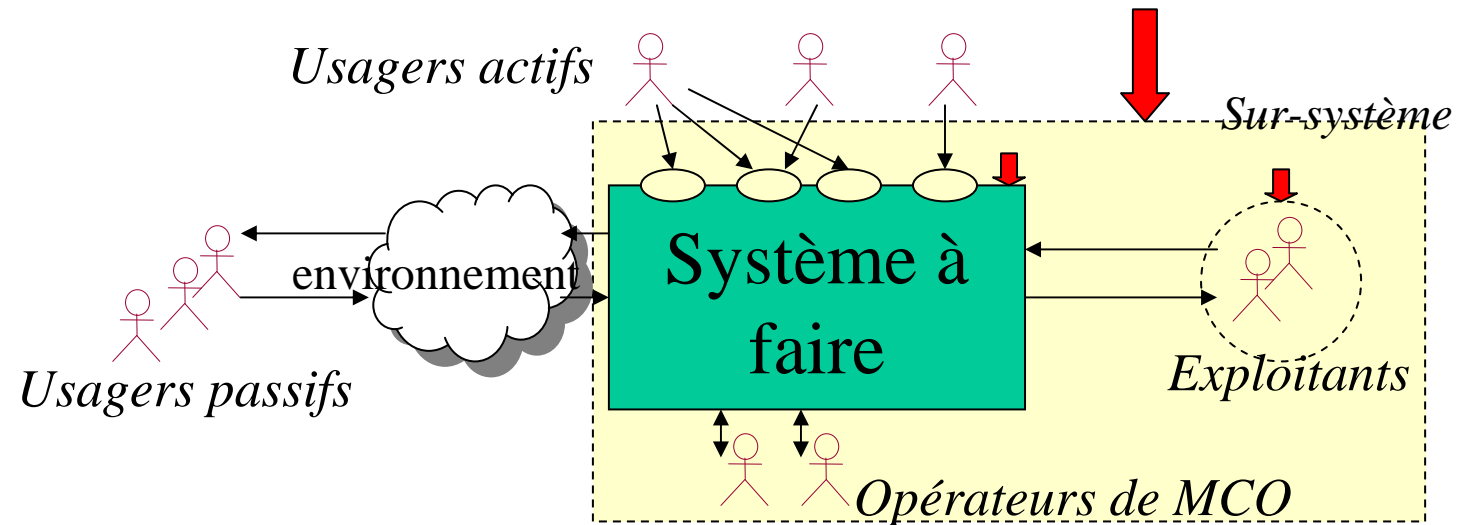


Finalité \Rightarrow Missions, objectifs \Rightarrow Fonctions de service

Fonction de service \Rightarrow définition de produits, de « processus » interne, de régulation



Environnement humain (direct)



- *Usagers actifs* : bénéficient des services de façon interactive
- *Usagers passifs* : n'agissent pas de manière active sur le système (ex : passagers)
- *Exploitants* : agissent sur le pilotage du système (et sont nécessaires à son fonctionnement)
- *Opérateurs* de soutien logistique, maintenance (Maintien en Conditions Opérationnelles)
- Systèmes « technologiques » / systèmes « socio-techniques ». L'humain est ou n'est pas dans le système selon le point de vue

Exigences s'appliquant à un système

Finalité ⇒ fourniture de services à l'environnement direct

⇒ **Exigences et contraintes** sur le Système à faire

– **Exigences fonctionnelles** ⇒ ce que doit **FAIRE** le système ⇒
Fonction de services (interactives, actives, réactives)

– **Exigences non fonctionnelles** ⇒ ce que doit **ETRE** le
système

⇒ **FURPSE** (Functionality, Usability, Reliability,
Performance, Serviceability, Evolutivity) (ISO CEI 9126)

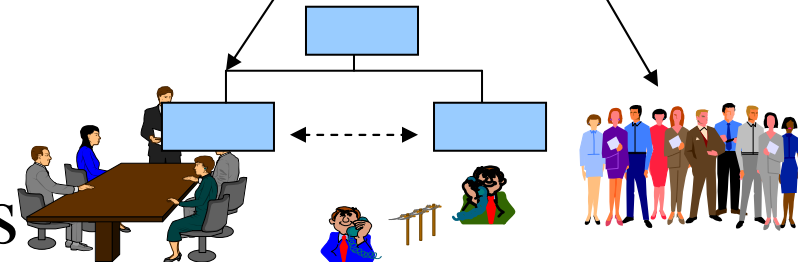
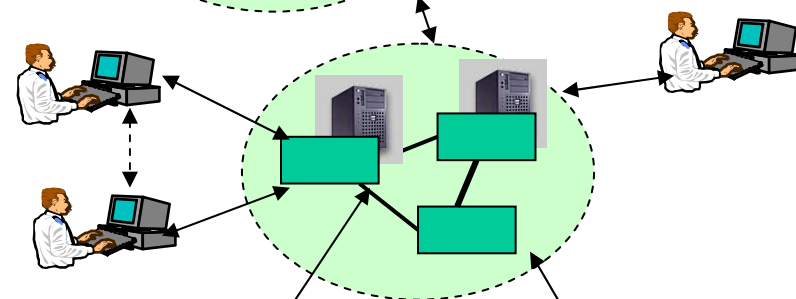
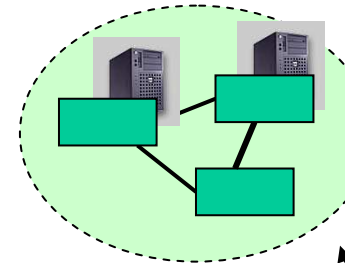
– **Contraintes de l'environnement *direct*** (milieu physique, ...)

– **Contraintes de l'environnement *indirect***

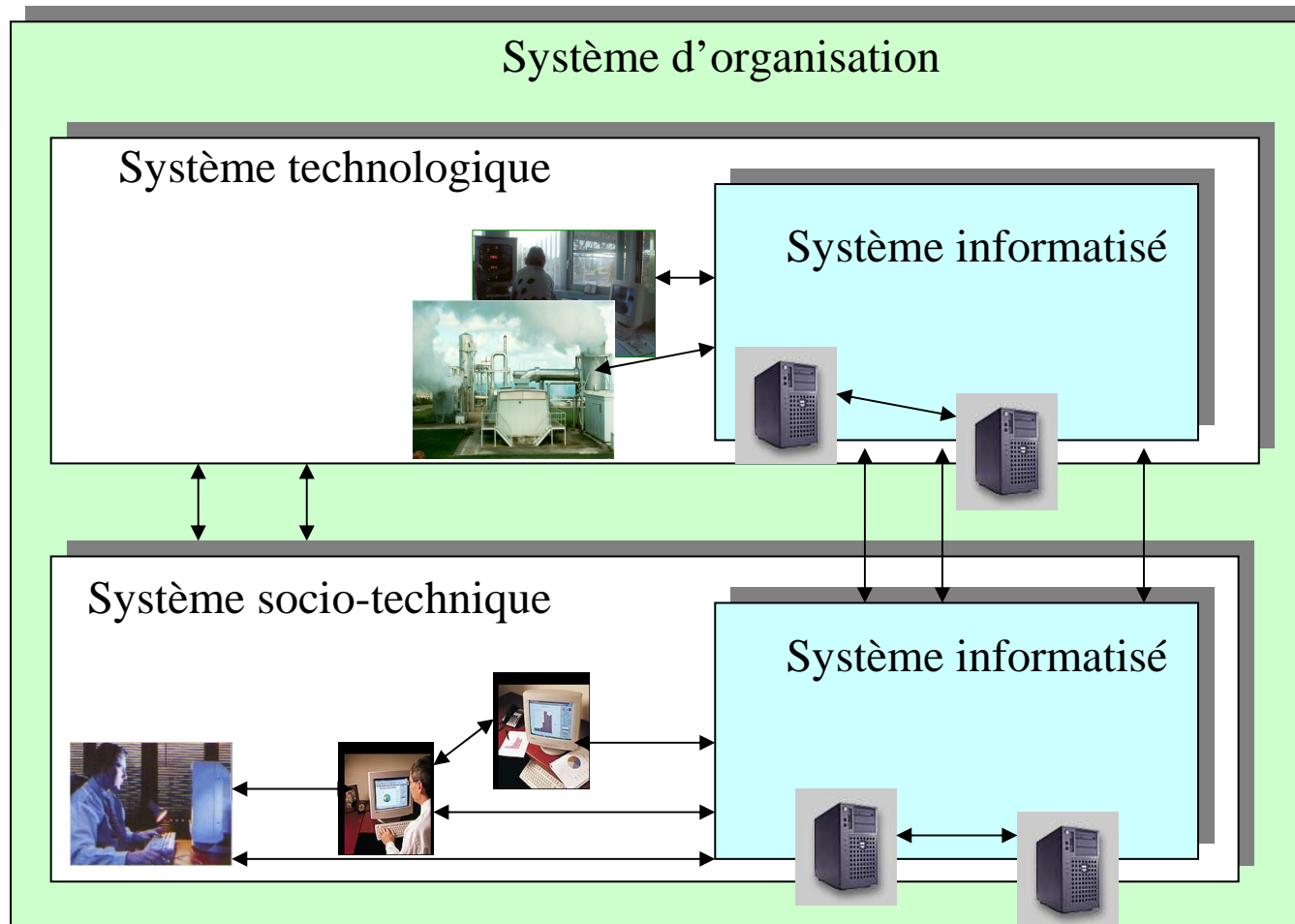
⇒ facteurs **PESTEL** (Politique, Economique, Social,
Technologique, Environnemental, Légal)

Typologie des systèmes

- Systèmes technologiques
- Systèmes informatiques techniques
- Systèmes d'Information informatisés
- Systèmes d'organisations
- Systèmes socio-techniques



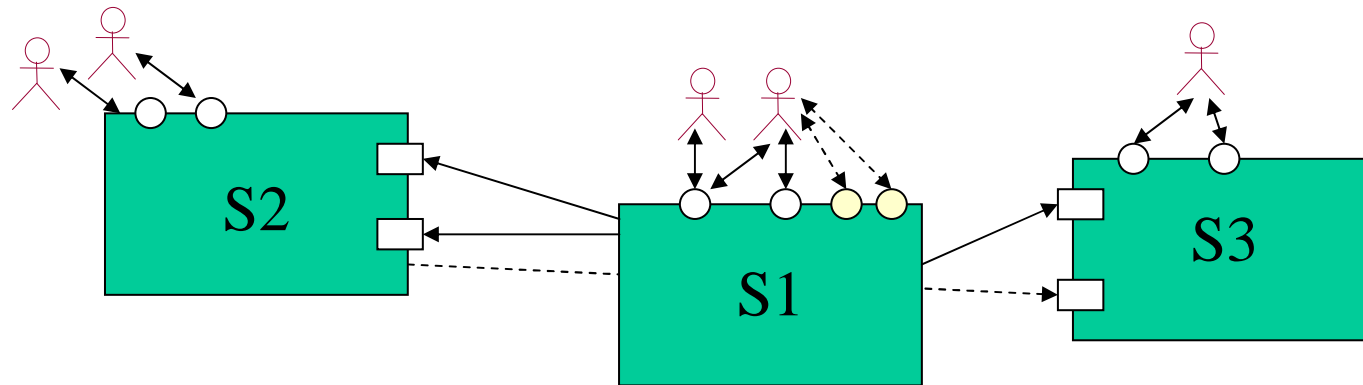
Des systèmes de systèmes...



Les systèmes interagissent avec les systèmes existants et forment des Systèmes de Systèmes

Des systèmes de systèmes...

- Les systèmes interagissent avec des systèmes déjà existants et forment des **Systemes de Systemes** \Rightarrow émergence de nouveaux services

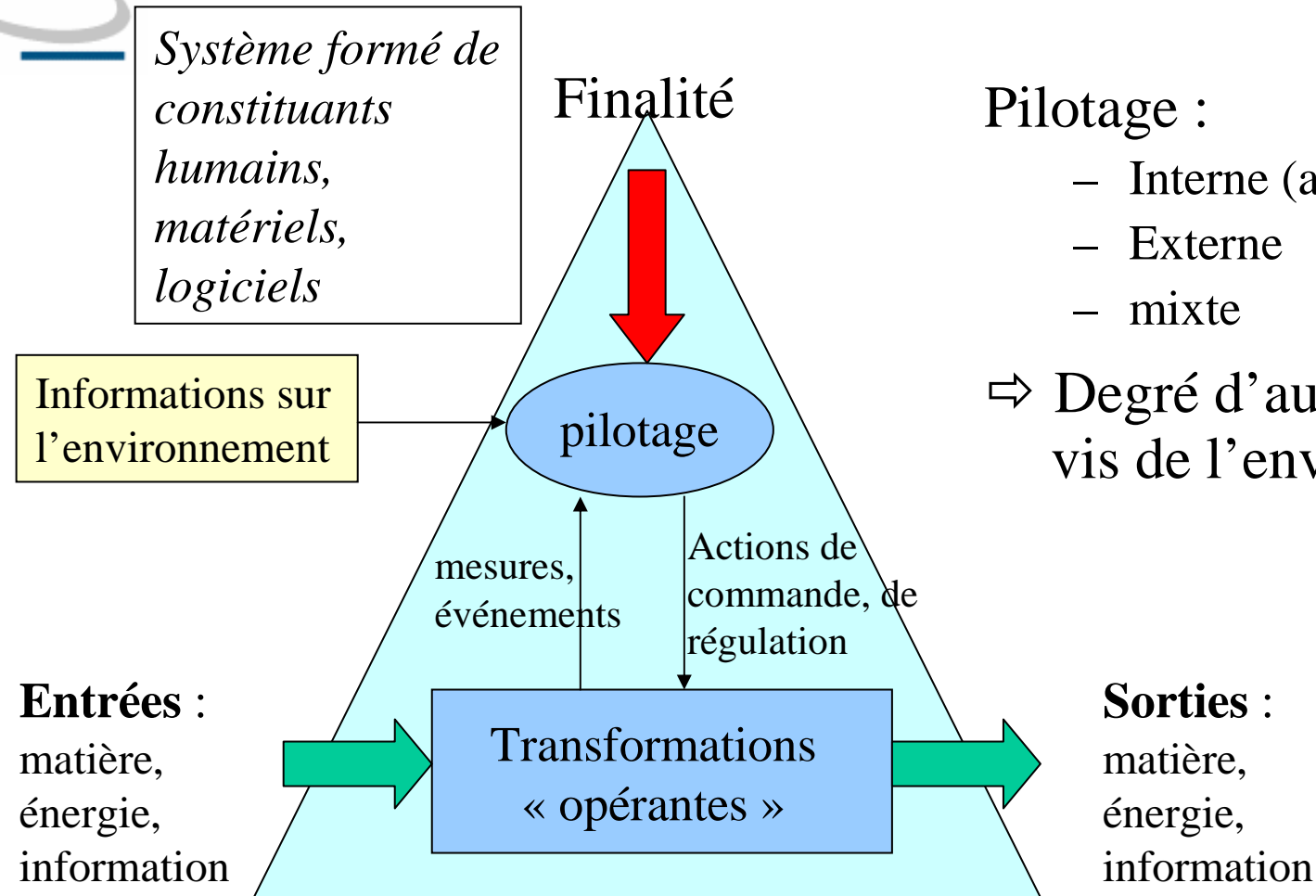


- On peut appliquer la démarche globale de l'I.S. au niveau de l'organisation \Rightarrow **Urbanisation du S.I.**

Intégration entre systèmes

- Réaliser un système par intégration de systèmes commercialisés sur le marché par différents fournisseurs
- Faire inter opérer des systèmes déjà en service
- Résoudre les problèmes d 'hétérogénéité :
 - **Fonctionnelle** (pragmatique) : rendre les applications complémentaires (fonctions, dynamique) ⇒ émergence de nouveaux services
 - **Sémantique** : mise en cohérence de la signification des données
 - **Syntaxique** : adaptation des formats d 'échanges
 - **Technique** (lexicale) : adaptation des infrastructures technologiques

Pilotage d'un système : un premier modèle



Pilotage :

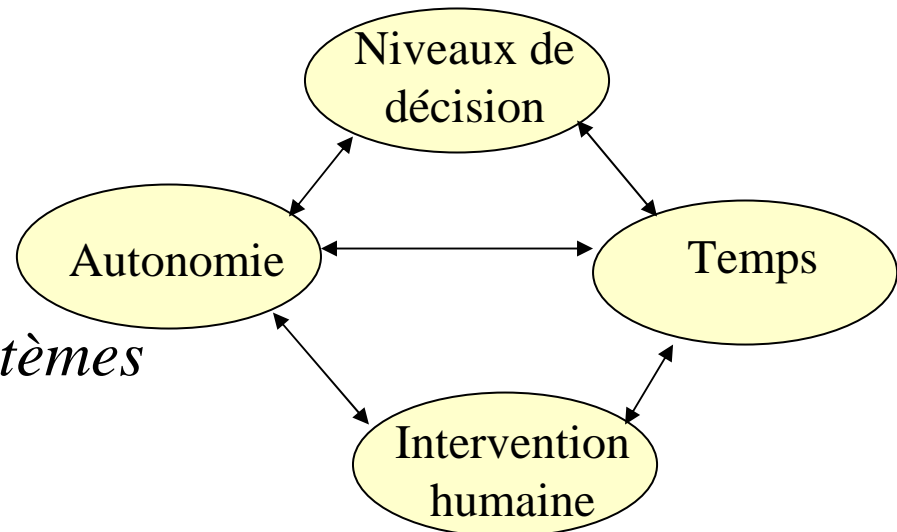
- Interne (auto pilotage)
- Externe
- mixte

⇒ Degré d'autonomie vis à vis de l'environnement

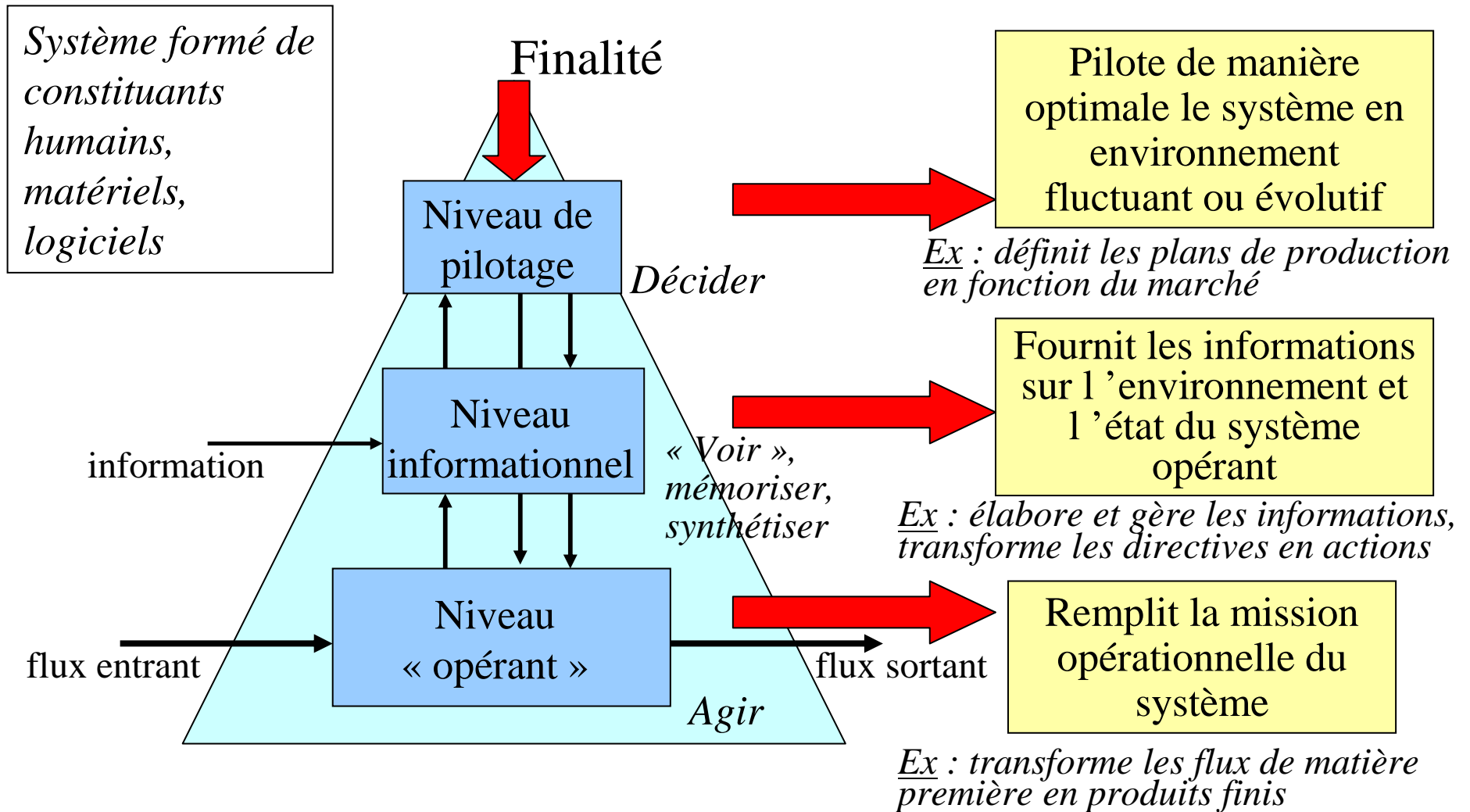
Niveaux de pilotage d'un système

- Notions de **Commande** (planification d'actions) et de **Contrôle** (réaction aux écarts)
- Différents niveaux de la pure régulation au « pilotage d'évolution » (reconfiguration, résilience)
- **Hiérarchisation** des niveaux de prise de décision :
 - Politique
 - Stratégique
 - Tactique
 - Réactif

*Ex : entreprises, nations, systèmes
« intelligents »...*

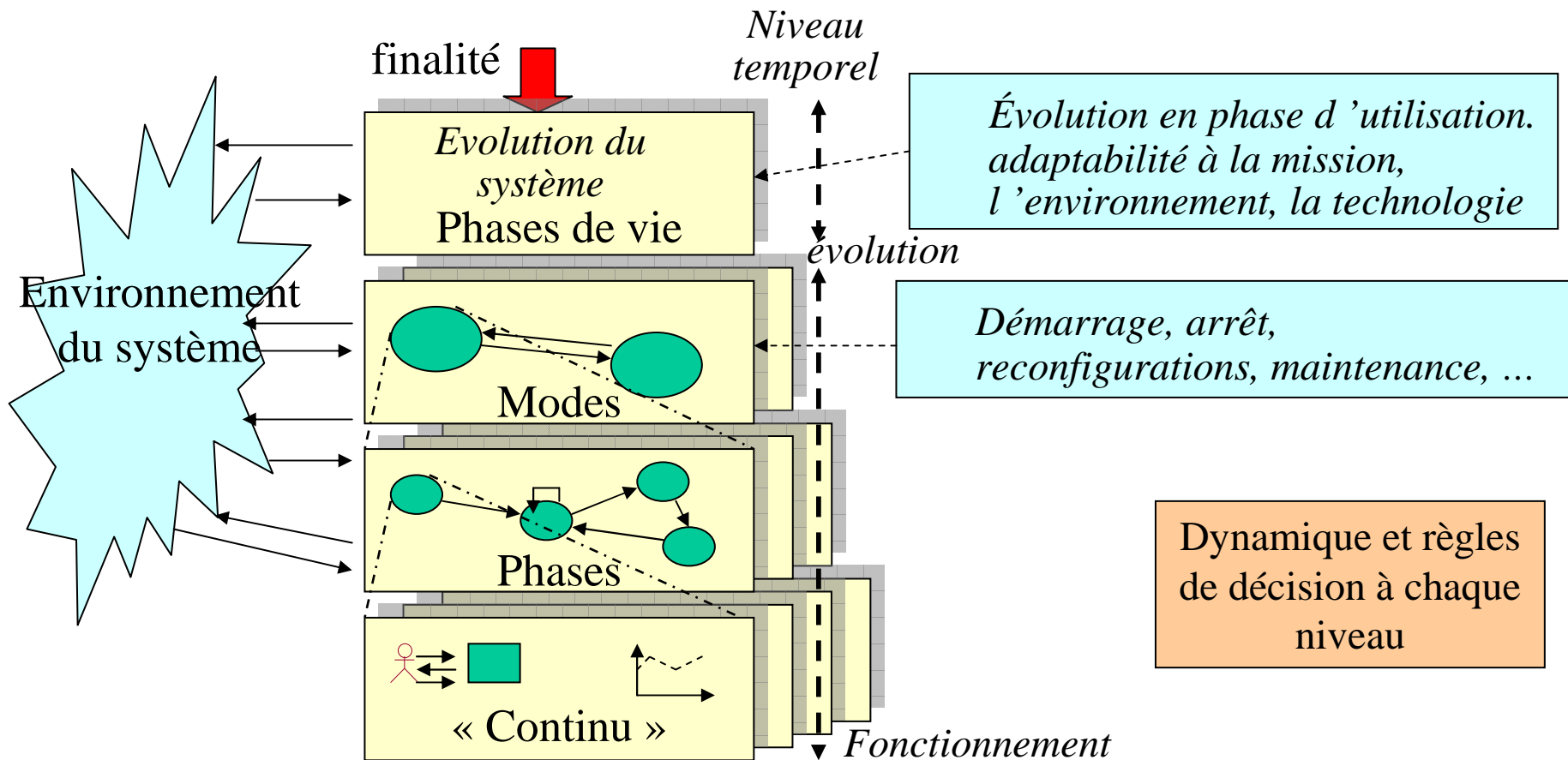


Décomposition générale d'un système finalisé



Systeme et temps

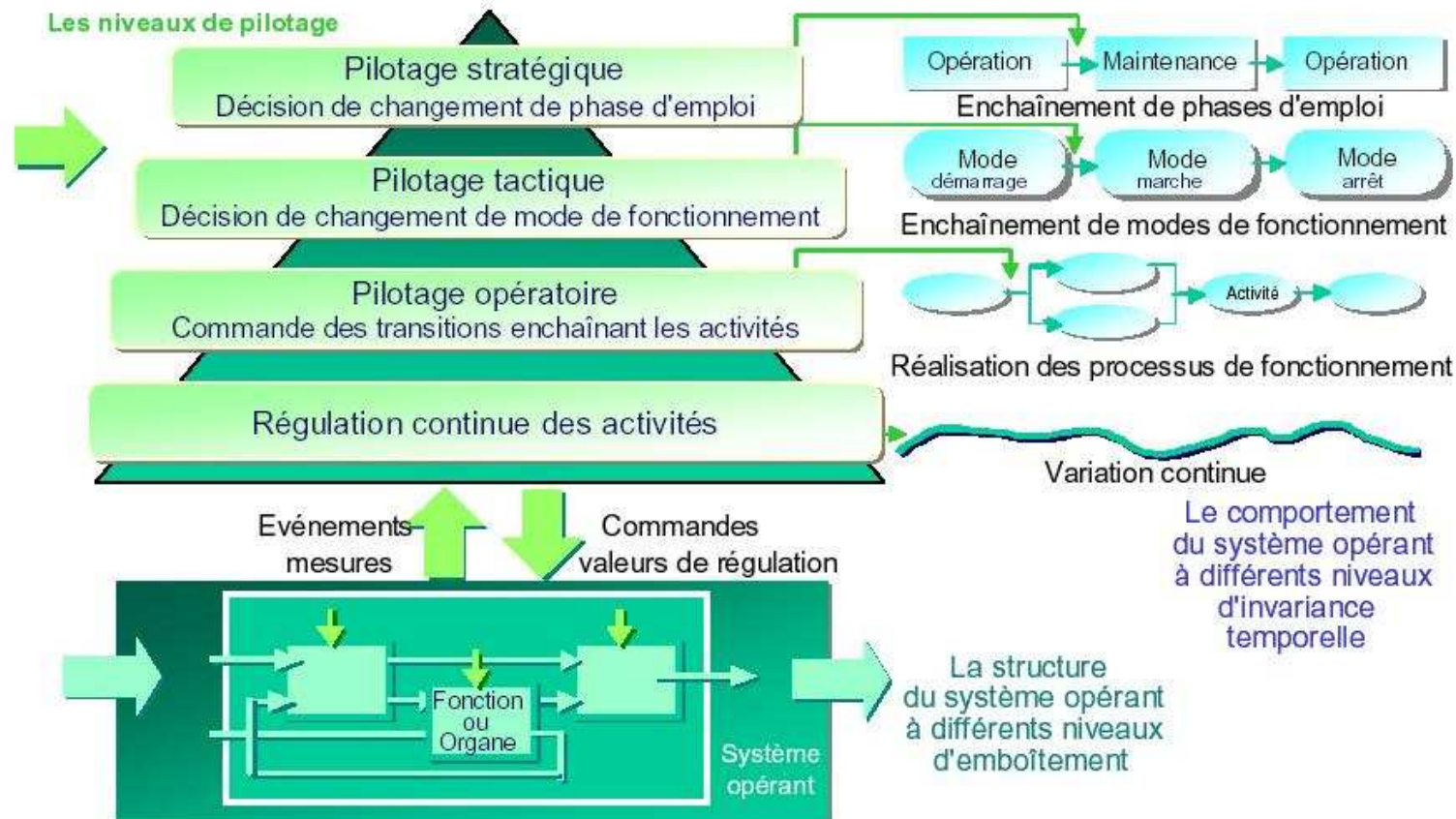
Décomposition temporelle \Rightarrow Description du fonctionnement suivant différents « niveaux d'invariance »



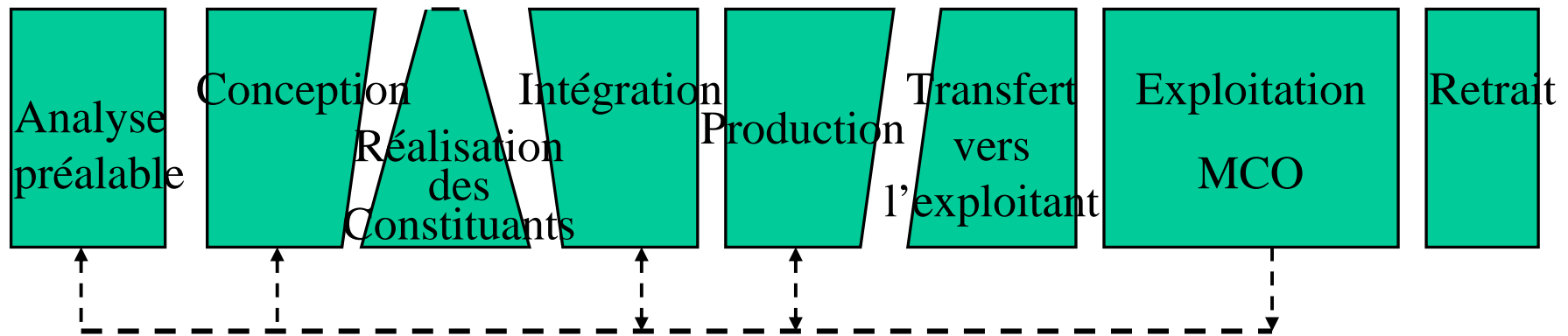
Pilotage et temps

Pilotage à chaque niveau temporel :

- Définition des enchaînements,
- Définition des scénarios, des actions de reconfiguration

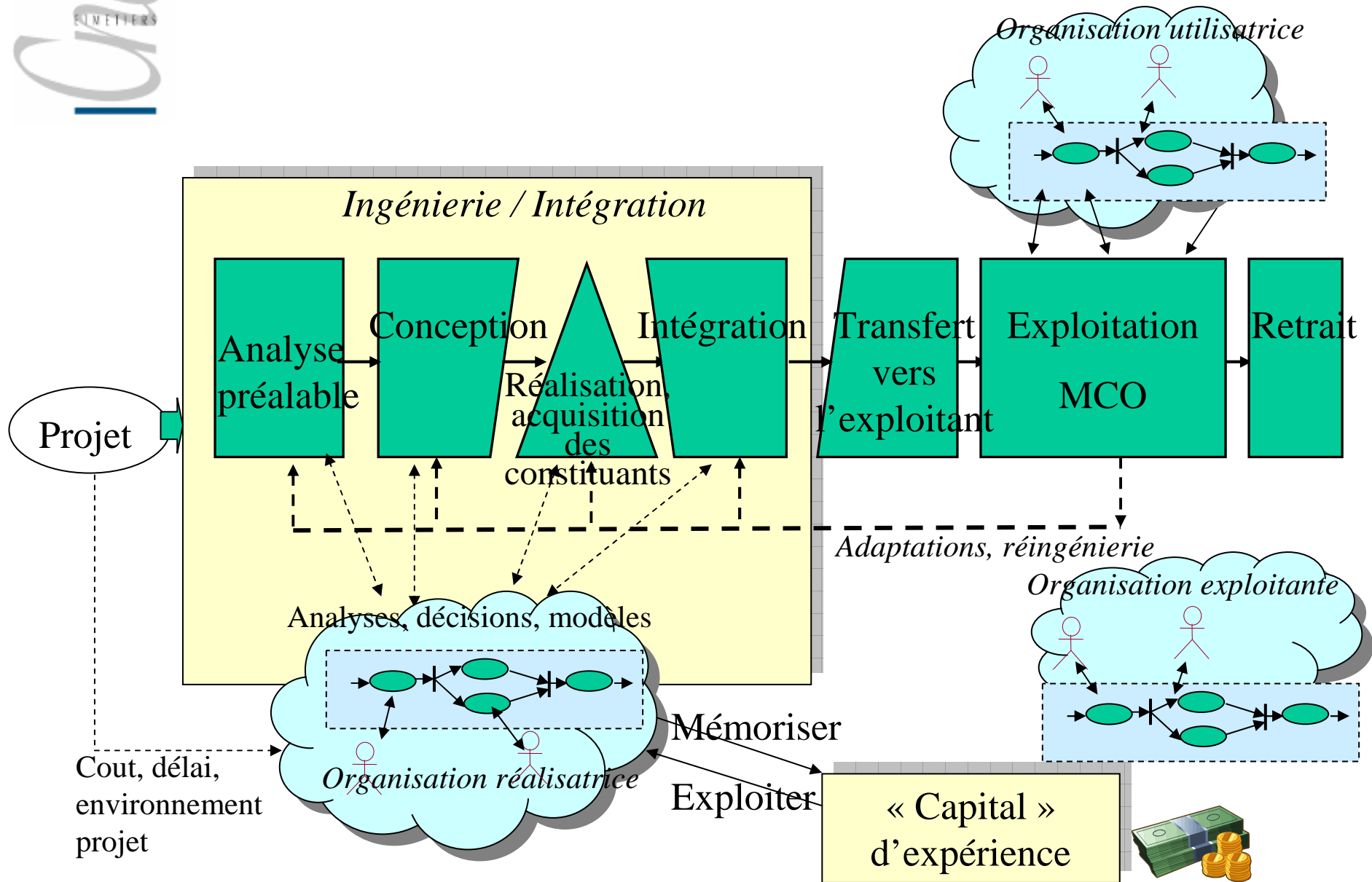


Le cycle de vie d'un système



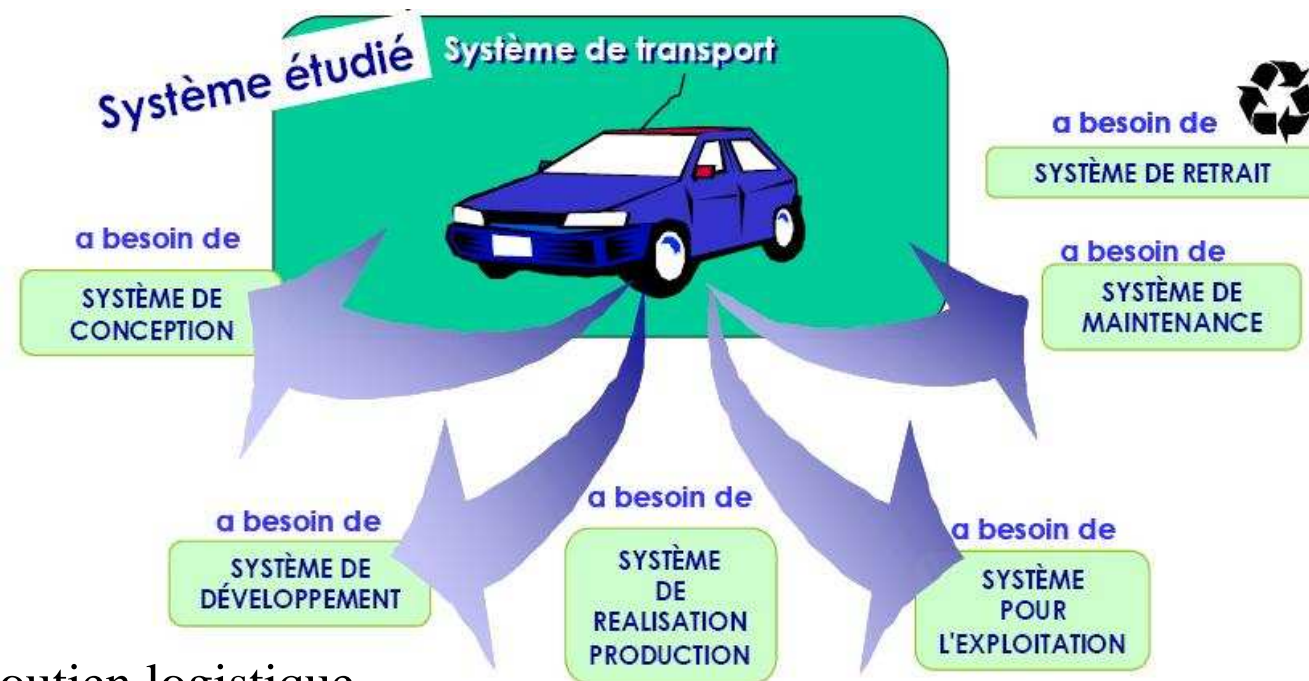
- Cycle de vie « nominal »
- Cycles de vie avec itérations

Le cycle de vie d'un système



Les systèmes contributeurs

Système principal et systèmes « contributeurs »

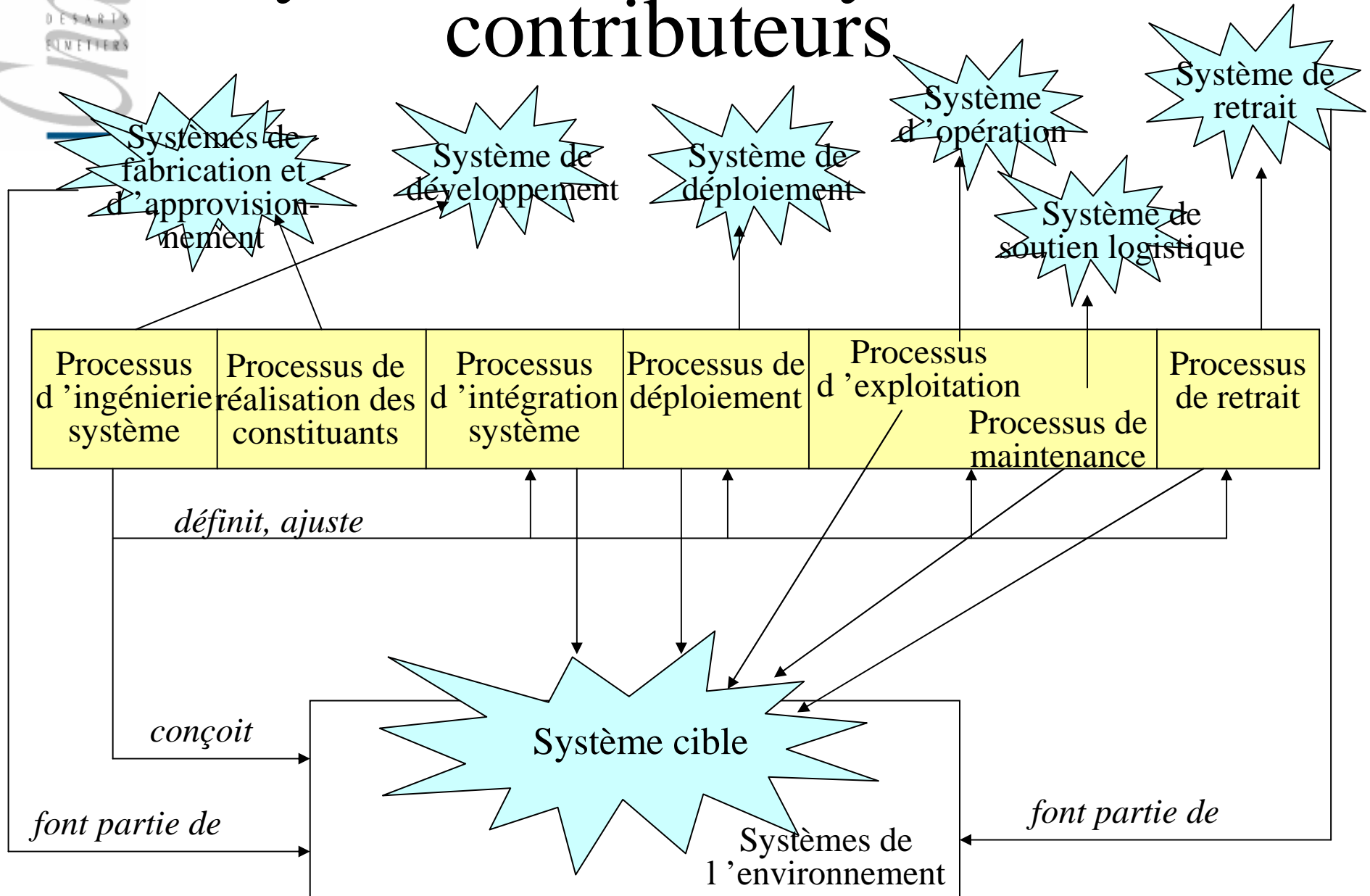


Système de soutien logistique

Les systèmes « contributeurs » peuvent préexister au système à faire

⇒ Produits contributeurs

Systeme cible et systemes contributeurs



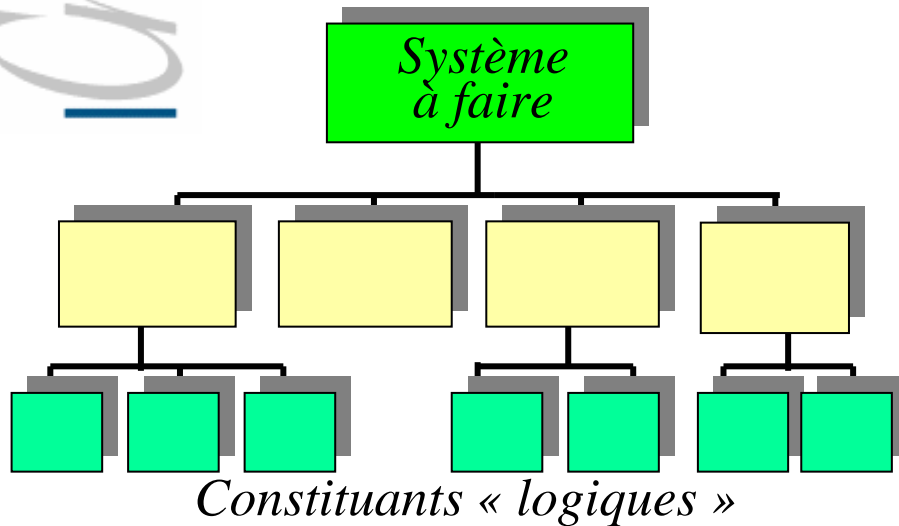
Le système : vue interne

Ingénierie du système

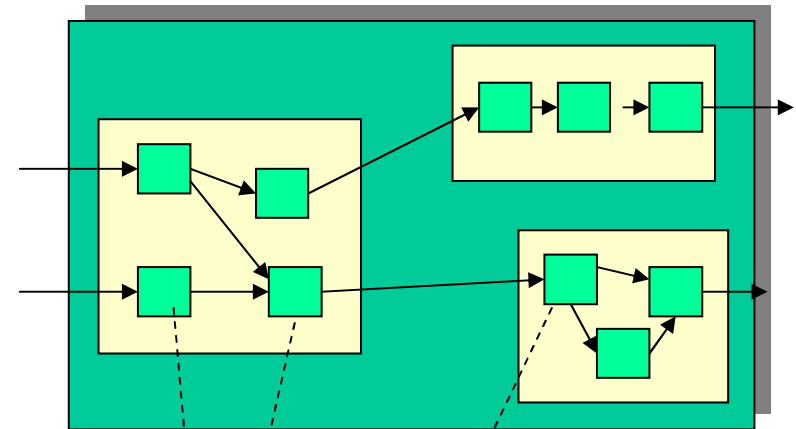
Le système : vue interne

- Système : ensemble d'éléments en interaction
- Décomposition en constituants, et en interactions entre les constituants \Leftrightarrow **Ingénierie** (point de vue descendant)
- Composition du système à partir des constituants \Leftrightarrow **Architecture, Intégration** (point de vue montant)
- Propriétés attendues :
 - allouées à un constituant, ou
 - Globales, émergeant du réseau d'interaction (non réductibles à des propriétés des constituants)
- Émergence intentionnelle, non intentionnelle

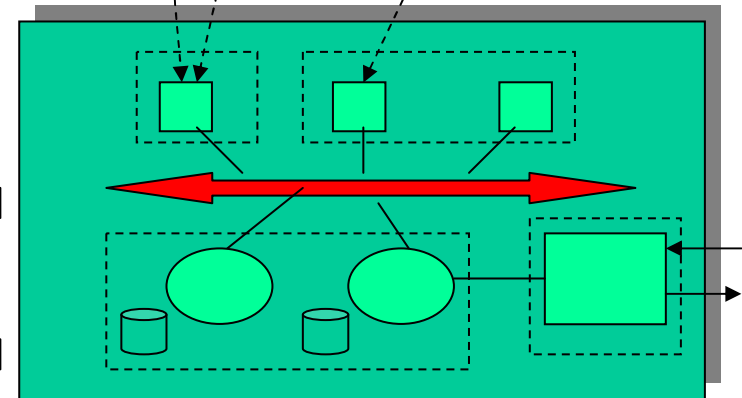
Décomposition et Architecture



Décomposition « logique » (fonctionnelle)



Architecture fonctionnelle



Architecture physique

Architecture organique : *Types de composants, interfaces, interaction, nature des liens, distribution physique sur le matériel, ...*

Architecture technique : *infrastructure logicielle systèmes d'exploitation, matériel, ...*

Architecture du système

L'architecture est un élément clé :

– **De l'intégration**

- *Contrats sur les interfaces*
- *Blocs : base de la stratégie d'intégration*

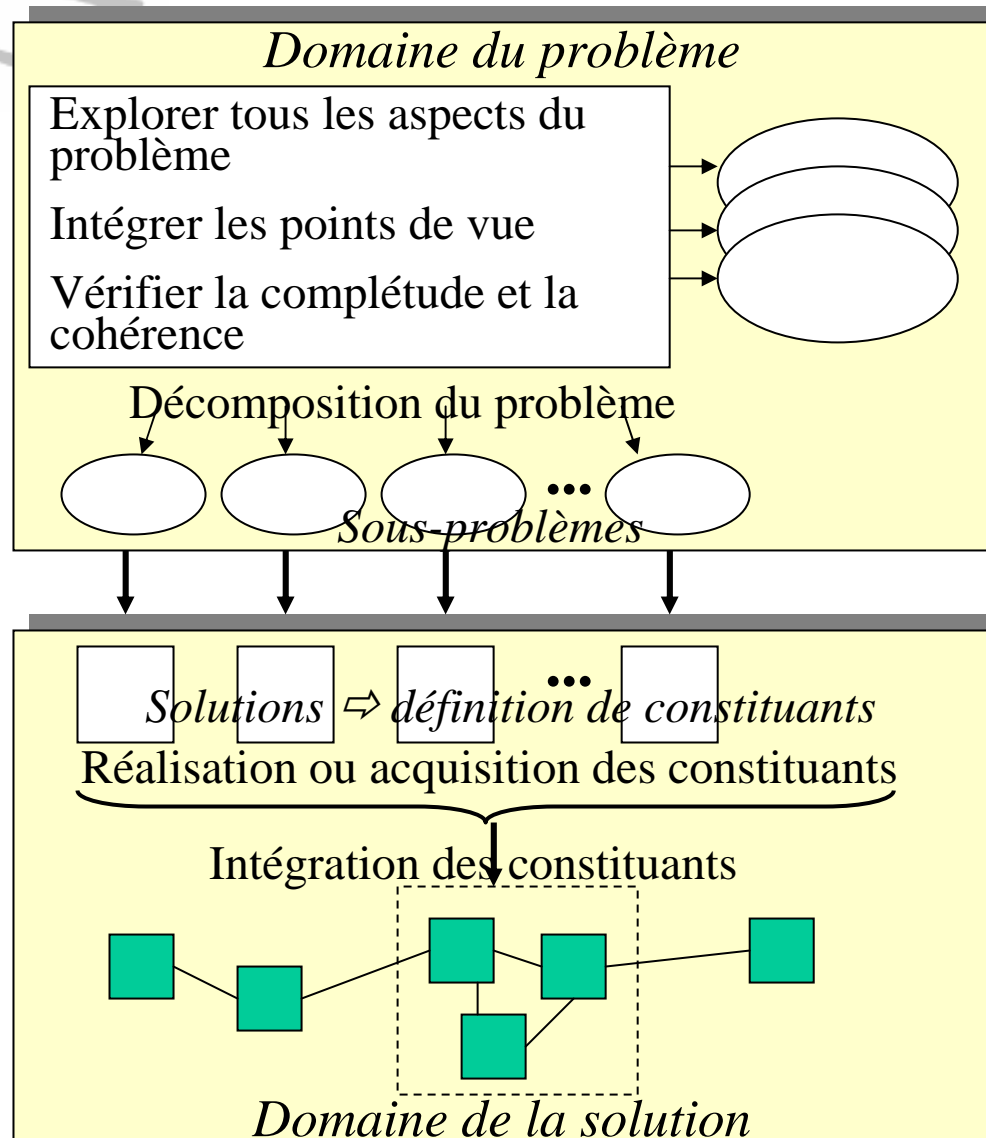
– **De l'organisation du projet**

- *structuration en WBS \Rightarrow planning*
- *délais et du couts*

– De la prise en compte des aspects non fonctionnels

- *Les besoins en sécurité, évolutivité, maintenabilité, couplabilité, .. sont les éléments majeurs qui influence l'architecture*

Décomposition d'un système



3 niveaux de travail

Vision contextuelle

Intégration de tous les points de vue
Ingénierie des exigences

Vision « fonctionnelle »

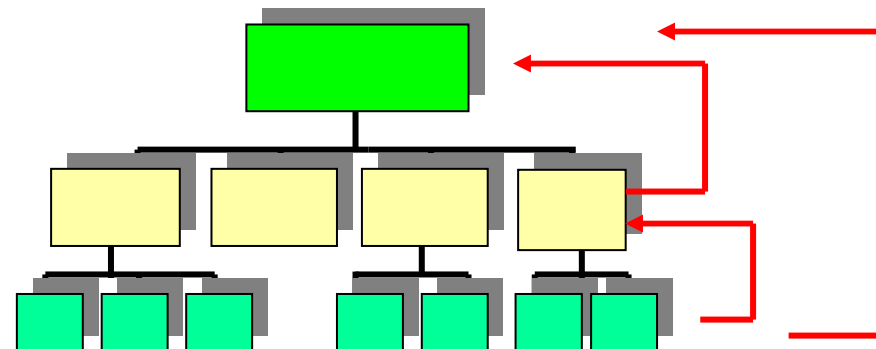
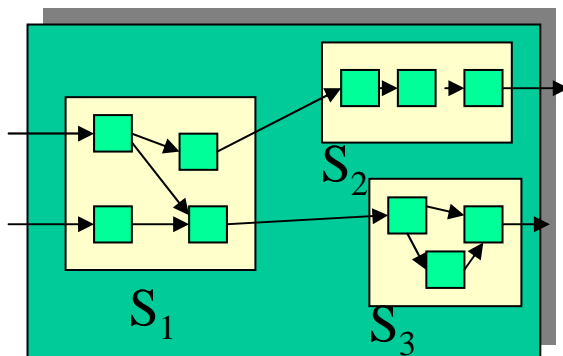
Décomposition analytique en sous-problèmes

Vision physique

Définition d'une architecture

Décomposition d'un système

- Décomposition itérative en sous-problèmes
 - pas d'optimum global immédiat
 - atteinte de solutions acceptables
 - Prise en compte des interactions entre sous-problèmes
- Arrêt lorsqu'on aboutit à un élément suffisamment simple ou un constituant existant
- Si complexité trop grande, décomposition en sous-systèmes
- Lois psychologiques : entre 3 et 7 éléments, 4 niveaux





Le Système pour faire

Le Système-Projet

Projet

- Les systèmes sont en général des cas uniques qui répondent à un besoin particulier ⇒ **Projet**
- organisme client : **maître d'ouvrage**
- organisme fournisseur : **maître d'œuvre**

Projet : processus de mise en œuvre de ressources mobilisées en vue du développement d'un nouveau système (C.Q.F.D)

- engagement de **fonctionnalités**
- engagement de **coûts** et de **délais**
- engagement sur la **qualité**

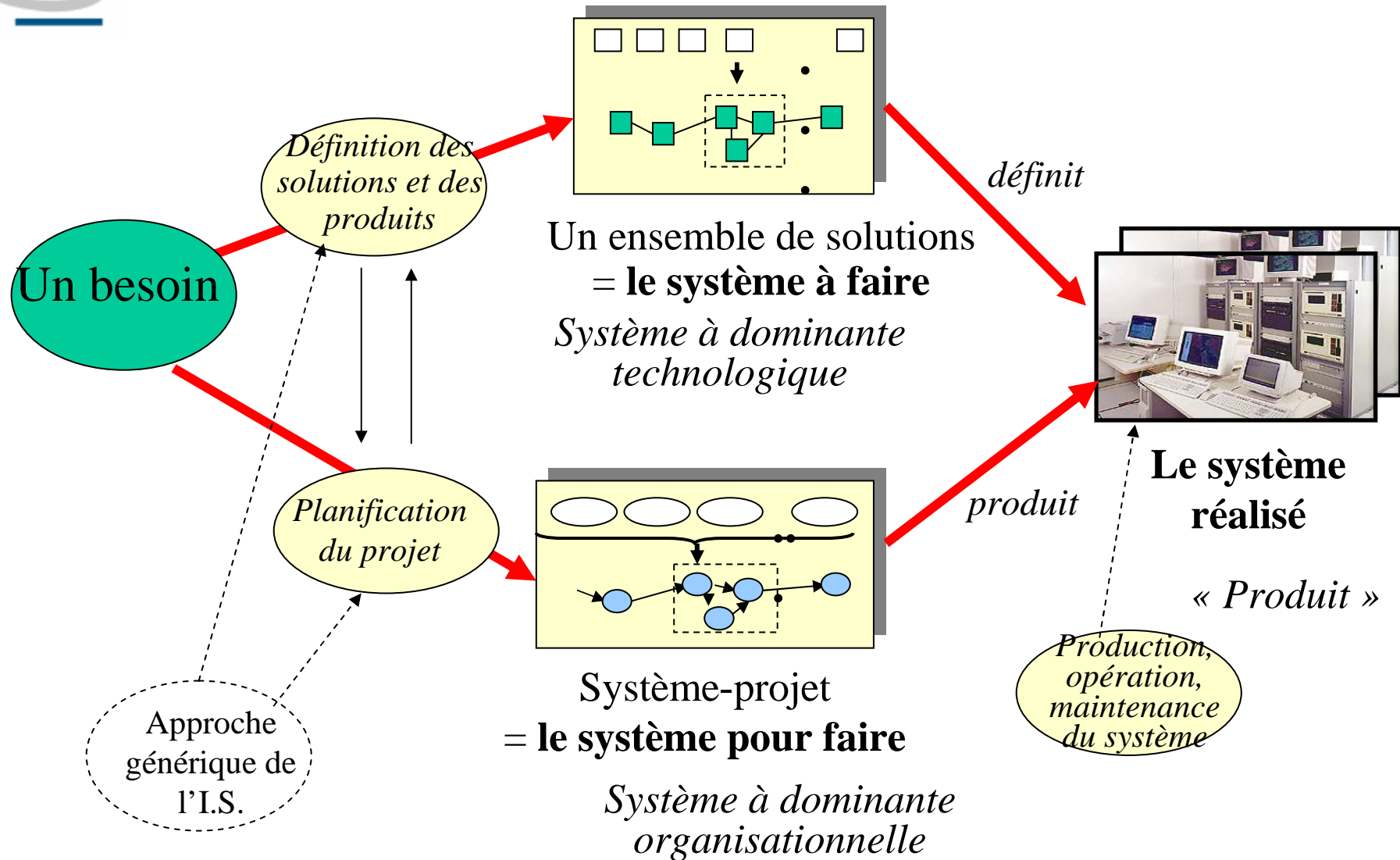
Programme

Certains systèmes nécessitent la coordination de plusieurs projets :

- grand système mettant en jeu différents projets (ex: système d'arme)
- petites séries avec livraisons étalées dans le temps
- systèmes déployés sur plusieurs sites

Programme : ensemble coordonné de projets destinés à concevoir, fabriquer, maintenir en conditions opérationnelles un système ayant des caractéristiques de produit répétitif ou de déploiement

Les trois systèmes de l'I.S.



Le projet est un système

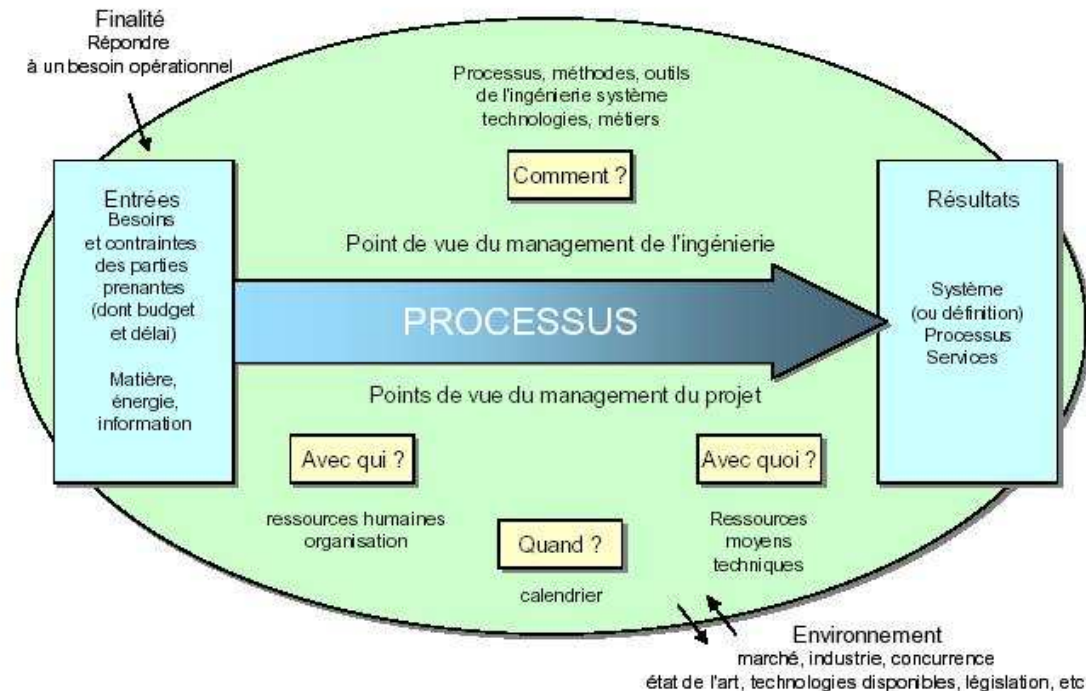
- **Projet = système :**
 - faisant passer d'une finalité à un système y répondant
 - Nécessitant des ressources humaines et matérielles, qui consomment du budget
 - ⇒ Ensemble d'activités et de ressources en interaction
- **Activités :**
 - Activités techniques d'I.S.
 - Activités de management ⇒ mise en œuvre des activités techniques
 - Management de projet
 - Management de l'I.S. ⇒ planifier et conduire les activités d'I.S.
 - Activités d'I.S. au niveau de l'entreprise ⇒ manager ce qui doit être commun (investissements, méthodes et outils, management des RH et des connaissances, amélioration des processus)

Le système projet

Projet \Rightarrow définition par un processus

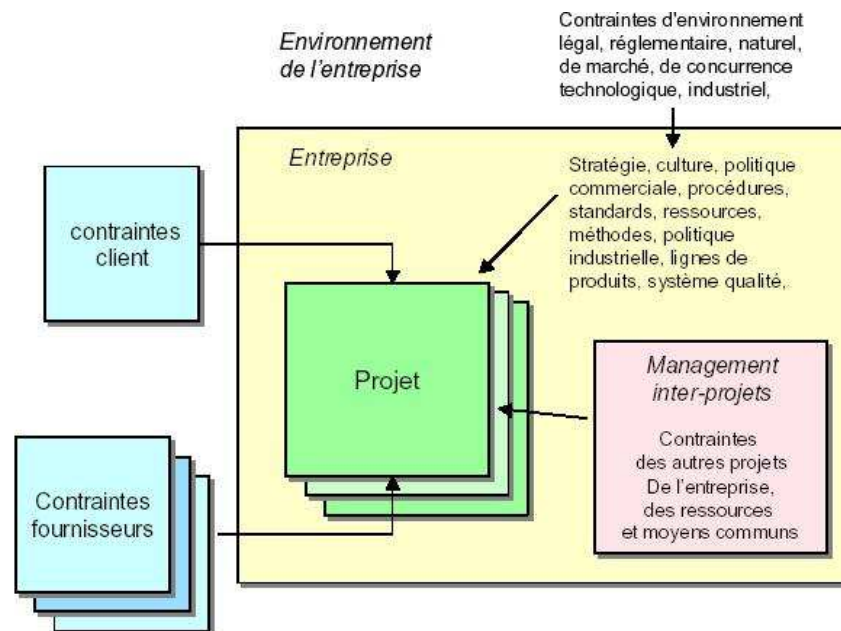
- Faisant passer d'une finalité à un système y répondant
- Nécessitant des ressources humaines et matérielles, qui consomment du budget

\Rightarrow Ensemble d'activités et de ressources en interaction



Systeme-projet et environnement

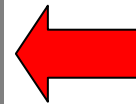
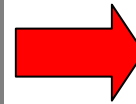
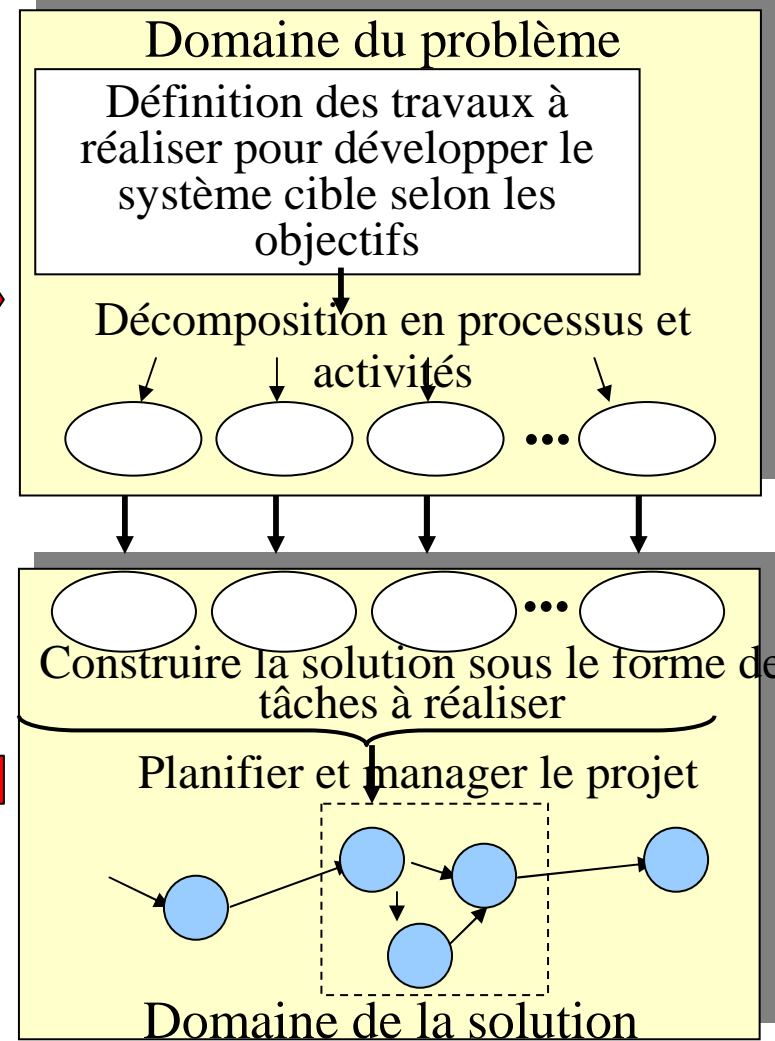
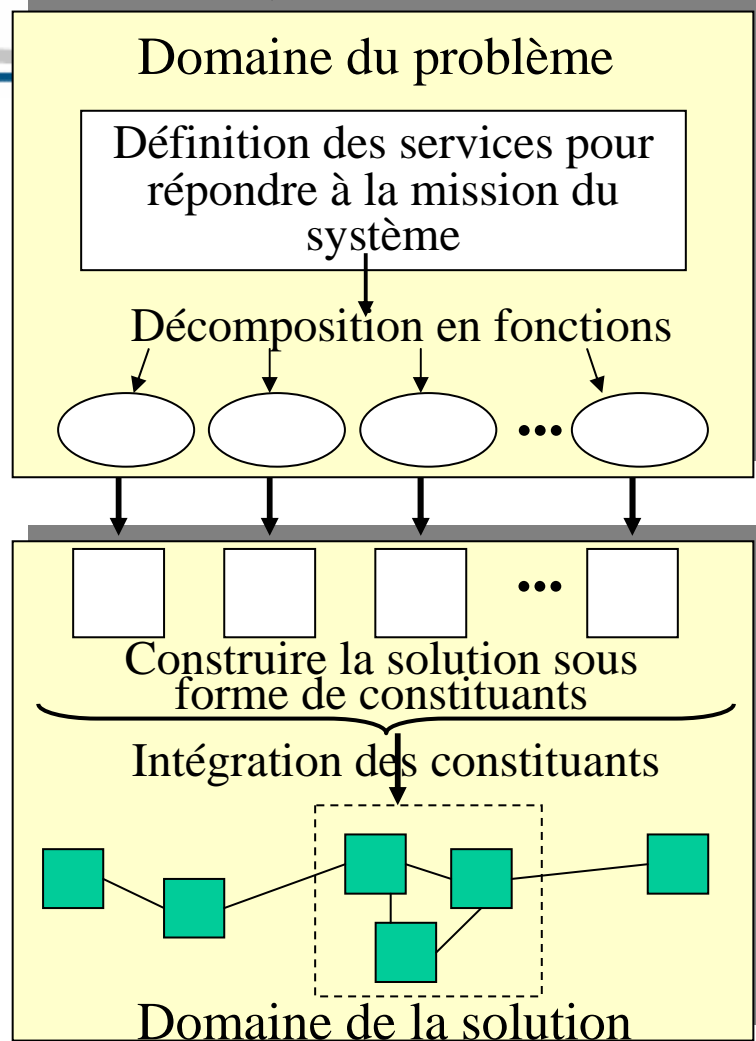
- Environnement direct : client, fournisseurs, le projet englobant, autres projets \Rightarrow interfaces
- Environnement indirect : organismes susceptibles d'être affectés \Rightarrow **contraintes** économiques et industrielles



Ingénierie du système et ingénierie de projet

Le système cible

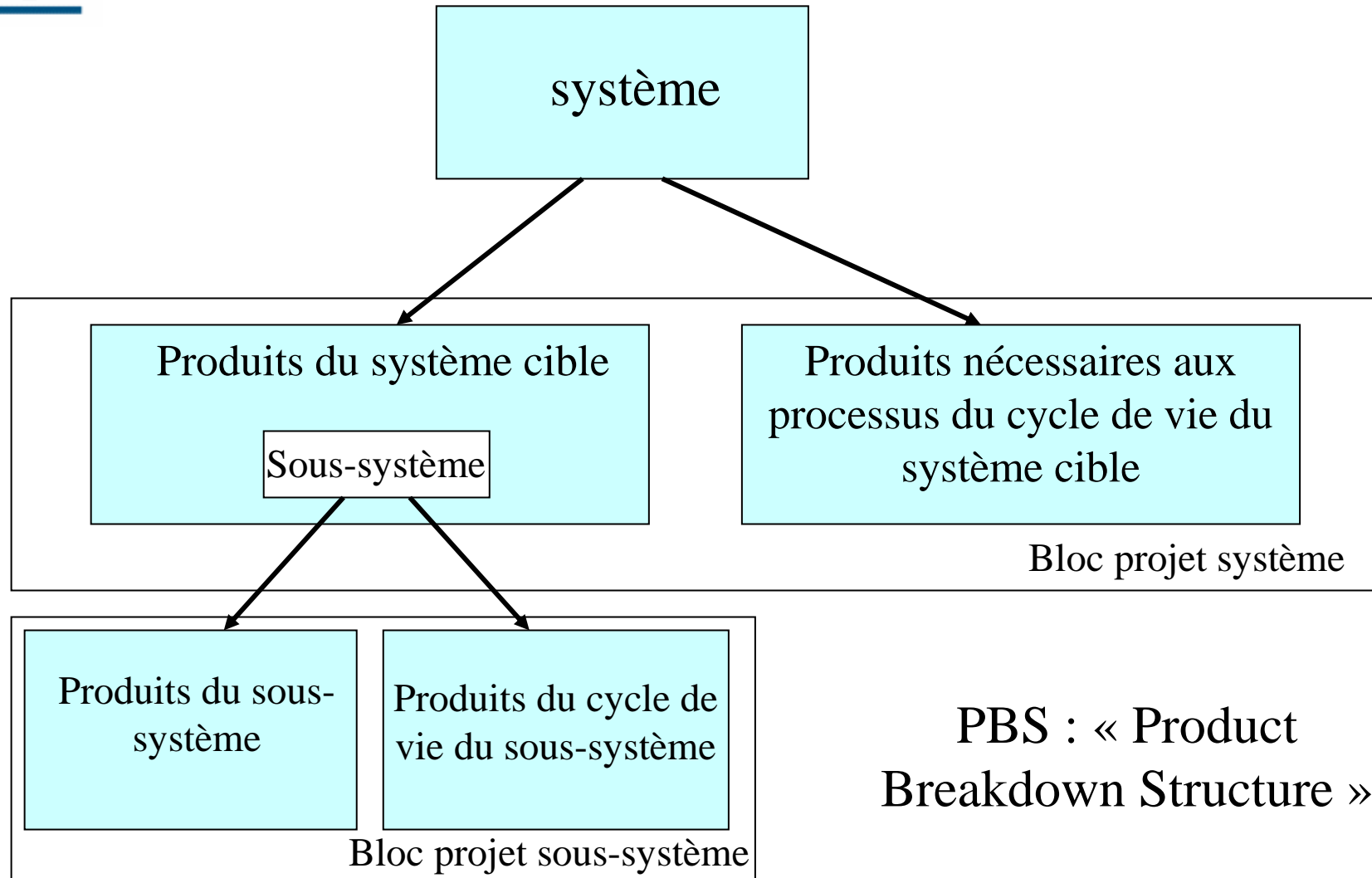
Le système « ingénierant » (projet)



Problématique d'intégration de constituants

Problématique de coordination, de synchronisation de processus

Décomposition d'un système



Éléments de complexité des systèmes

- **Complexité intrinsèque**

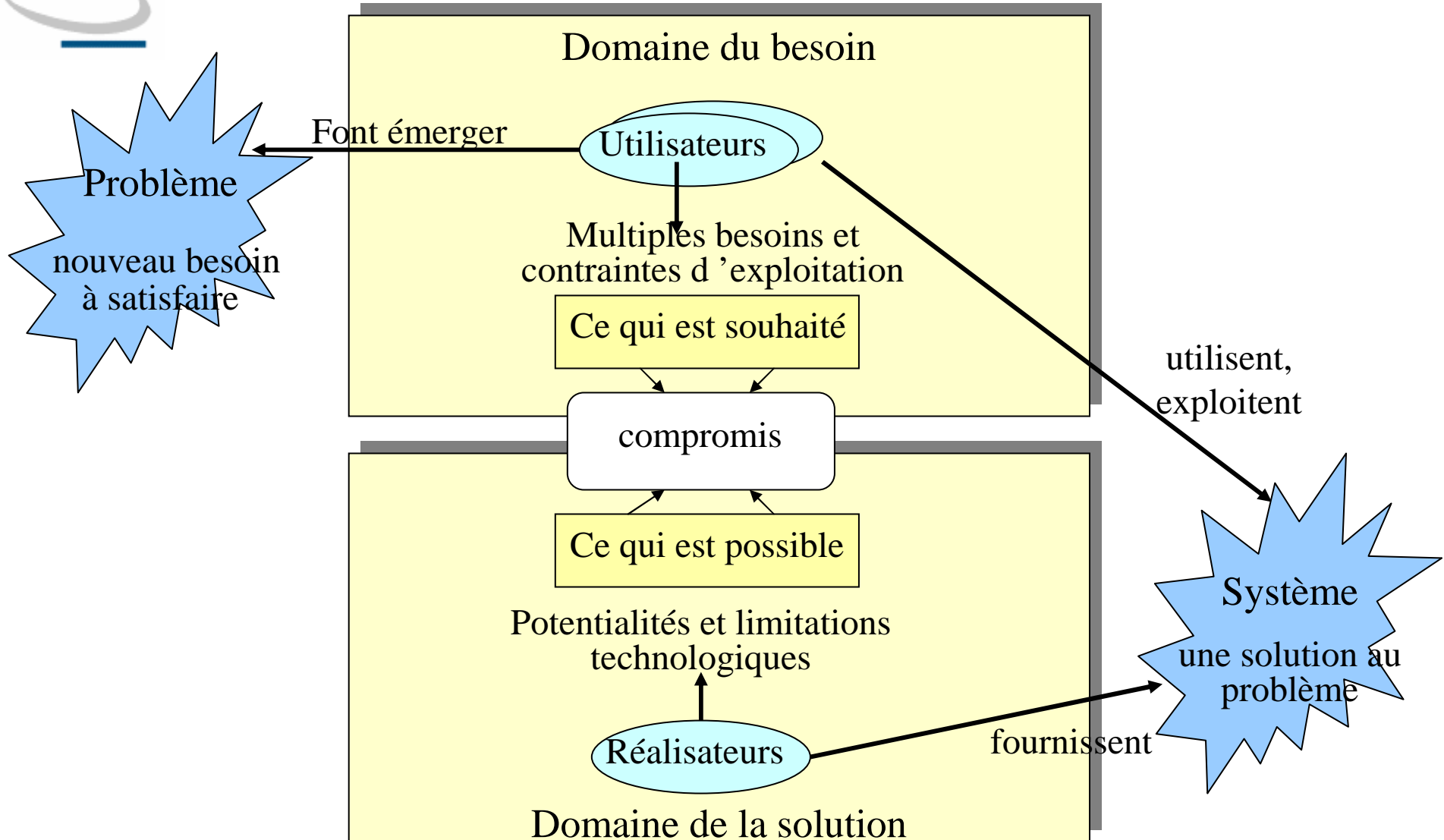
- **statique** : nombre et variété des éléments, fonction, interactions (nombre d'états, de configurations)
significative de l'effort d'ingénierie
- **dynamique** : dynamique des interactions (parcours dans l'espace des états, émergence)
significative de l'effort de test (->effort d'intégration)
- complexité d'**évolution** et d'**auto-organisation**

- **Indéterminisme**

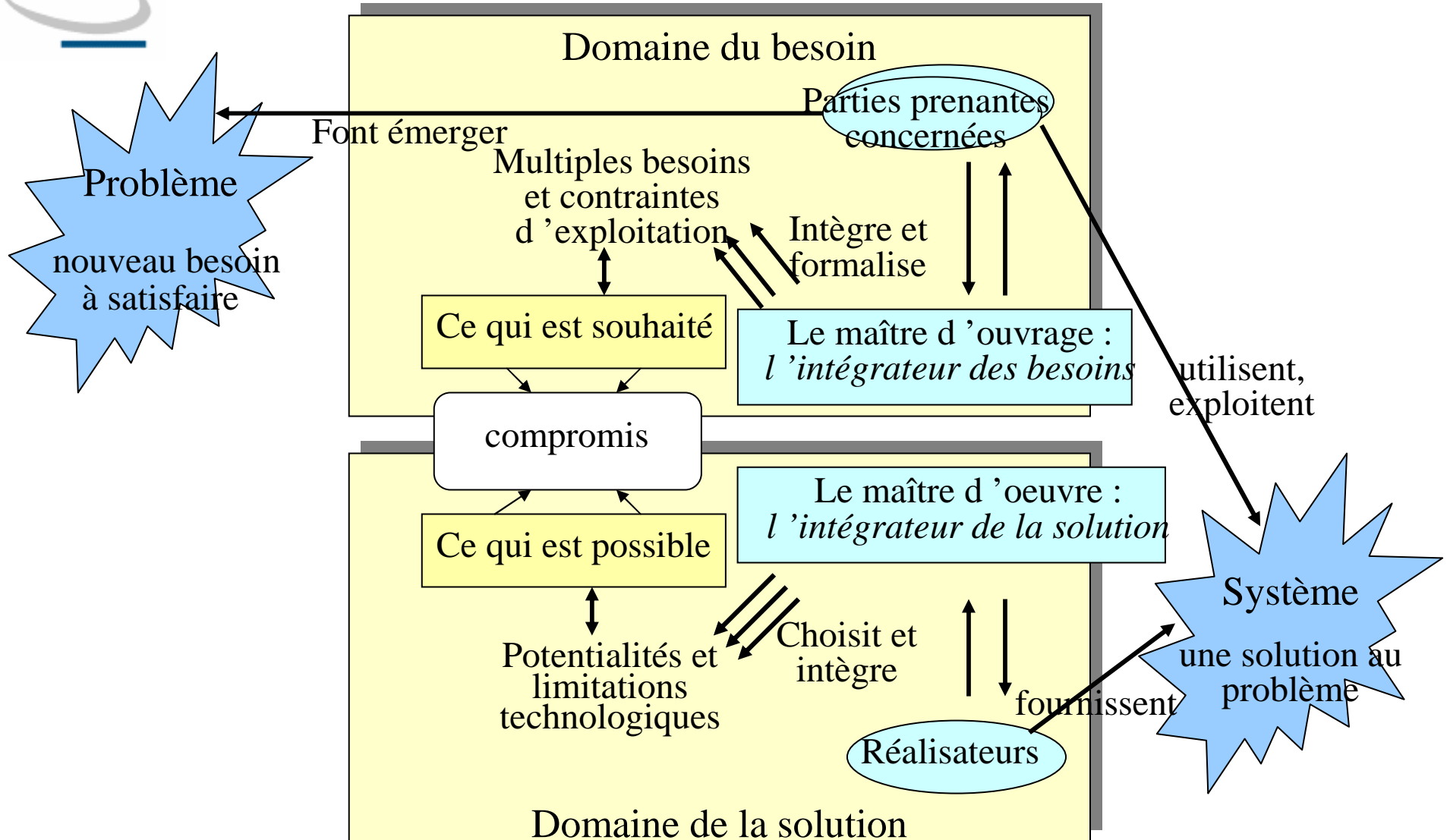
- comportement indéterministe de l'environnement
- aléas des constituants
- complexité humaine

- **hétérogénéité** des constituants et des métiers

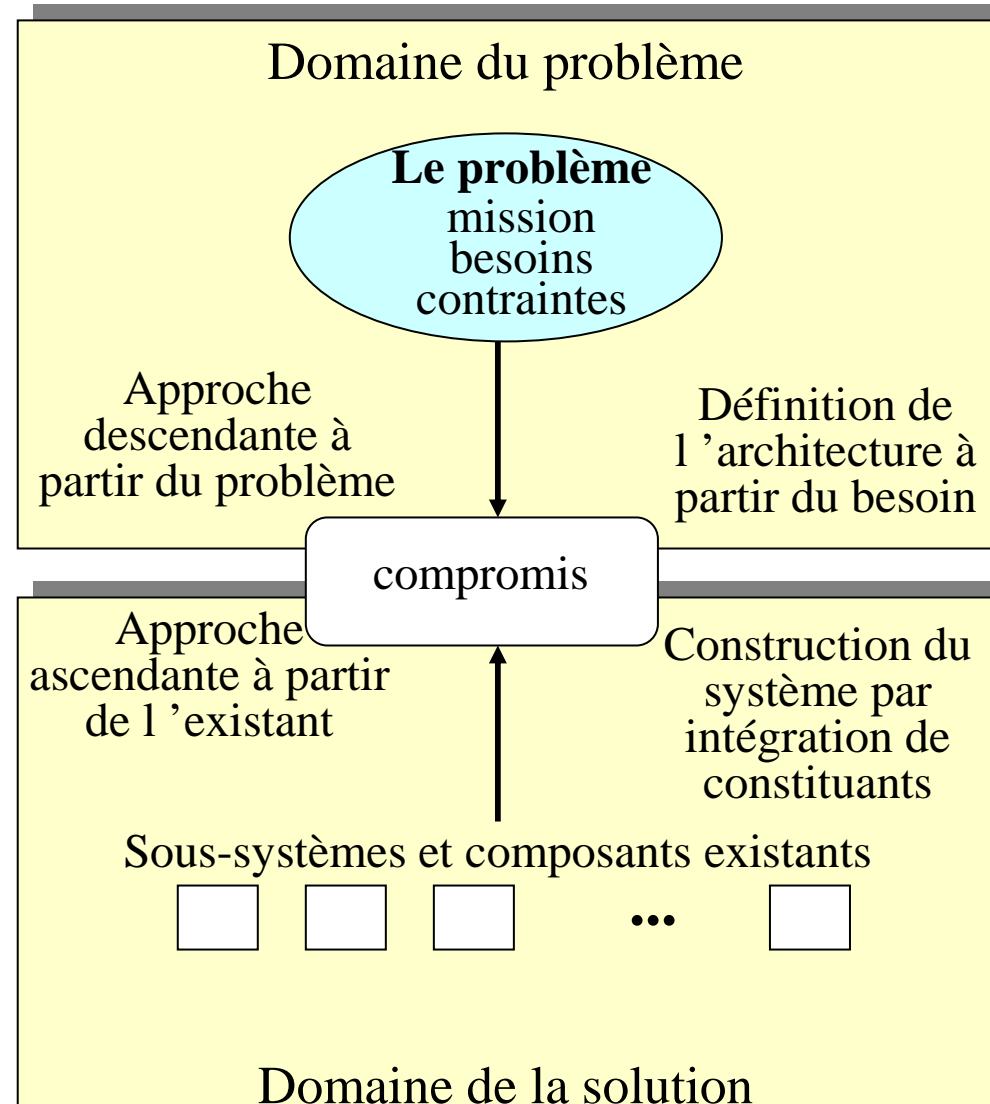
Du besoin à la solution...



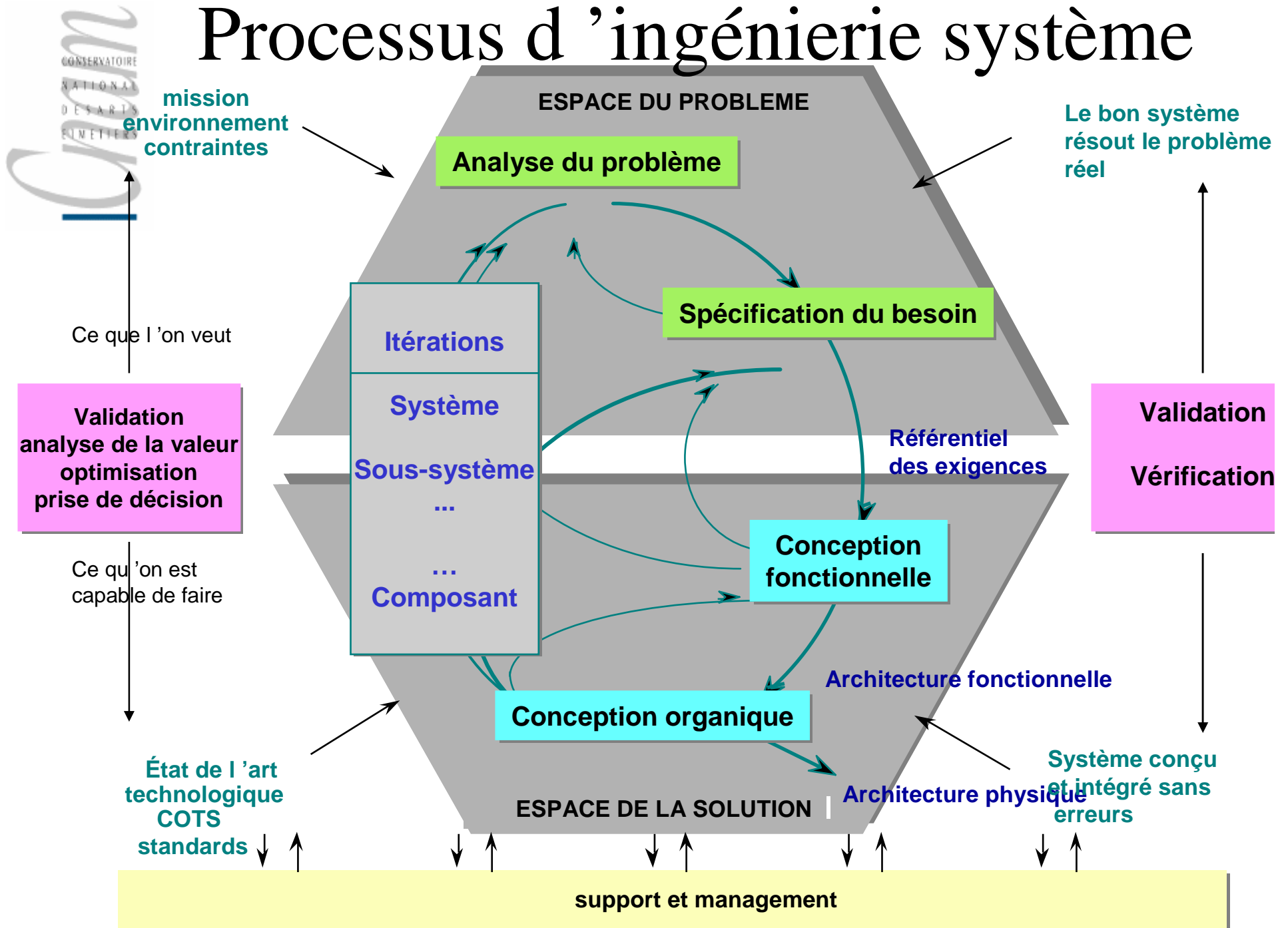
Du problème à la solution...



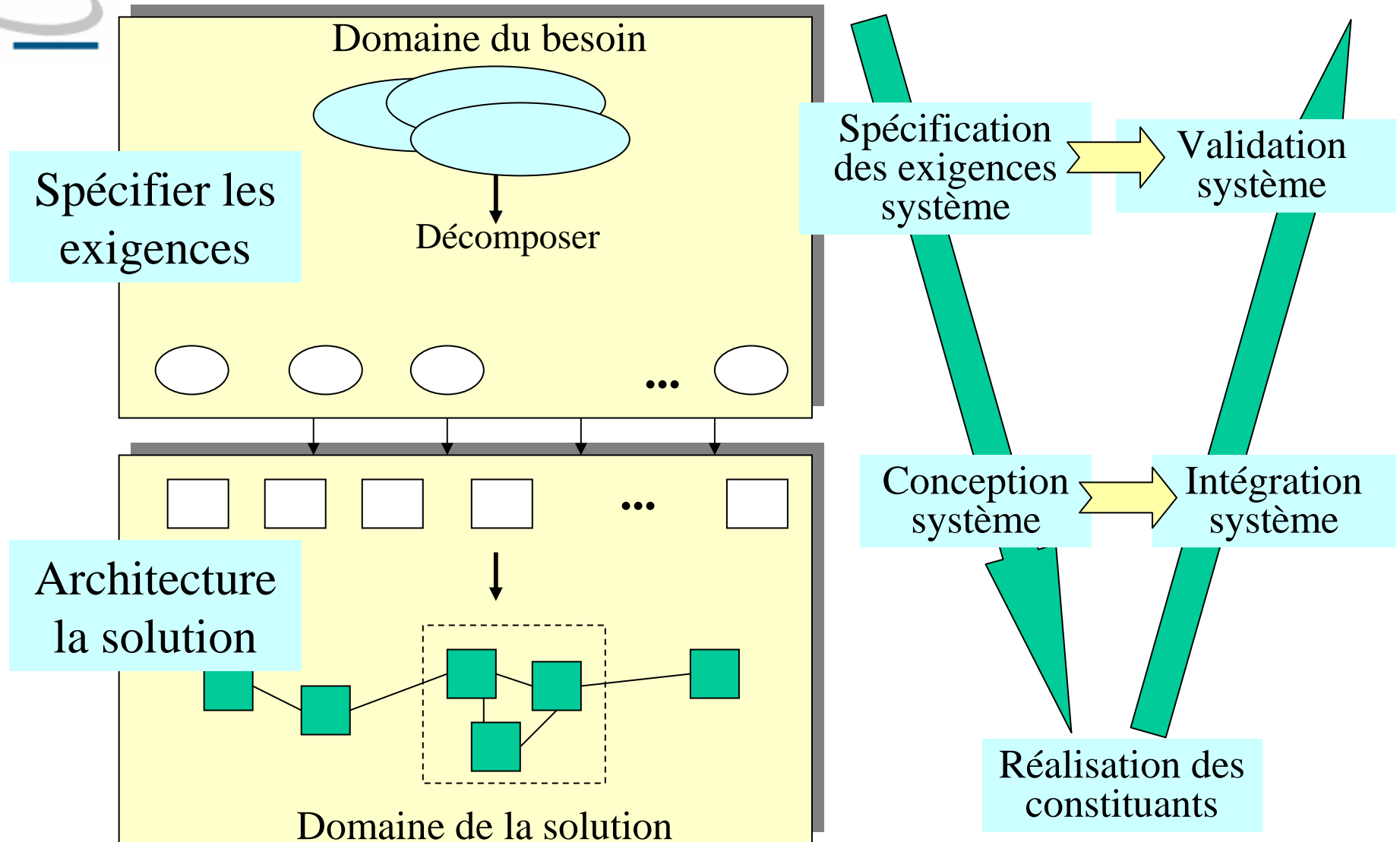
Ingénierie et intégration



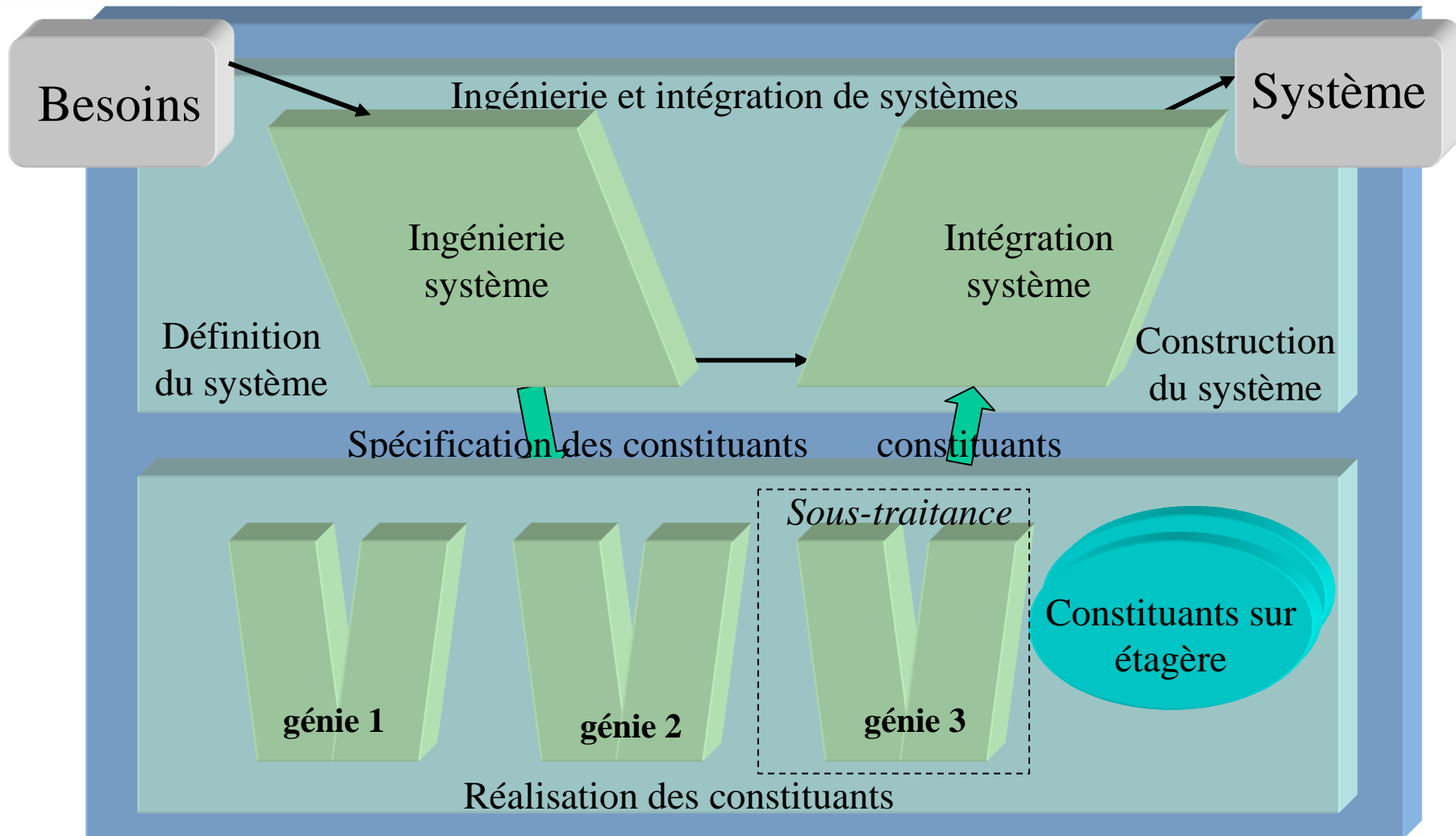
Processus d'ingénierie système



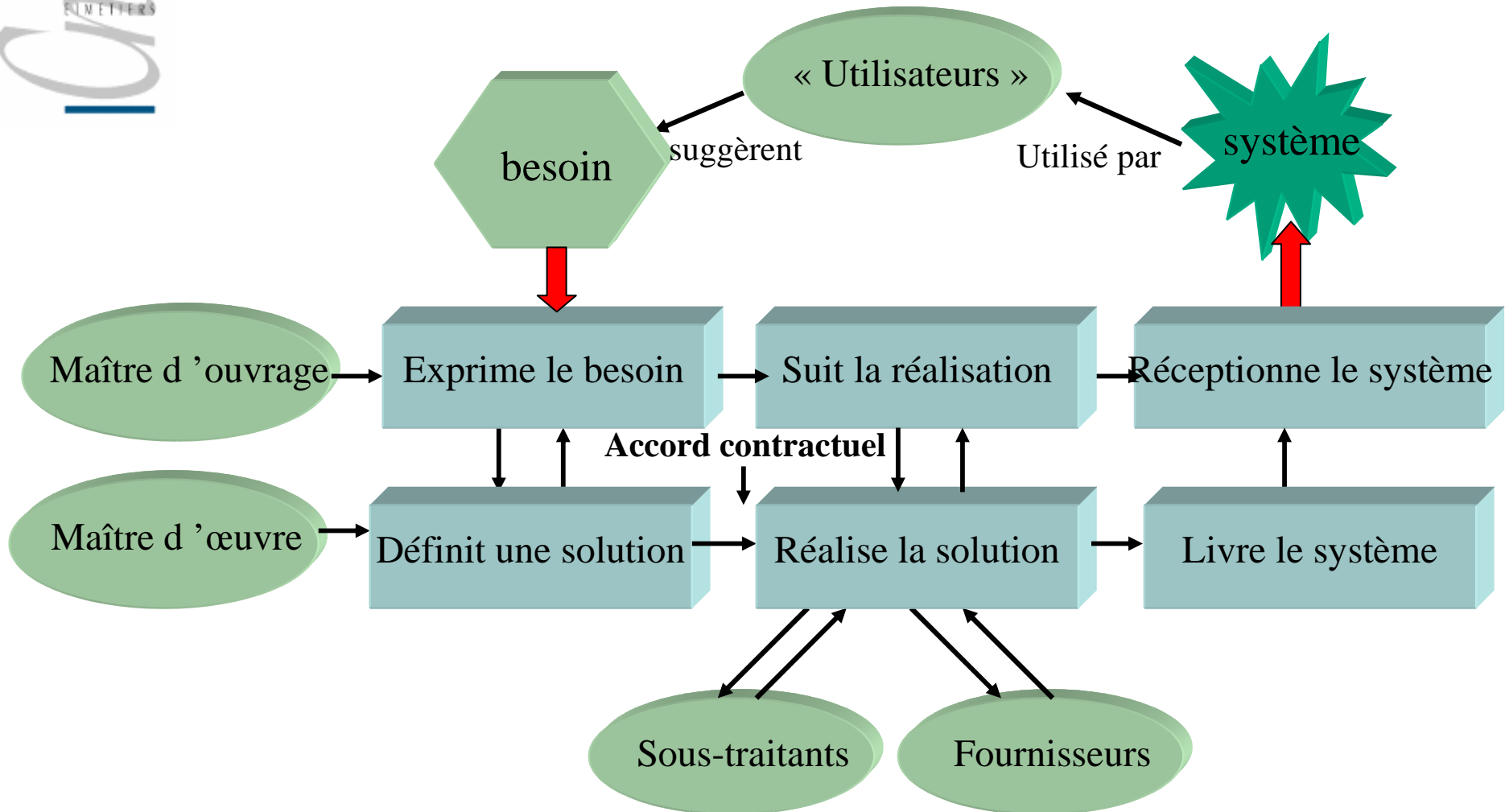
Le cycle en V



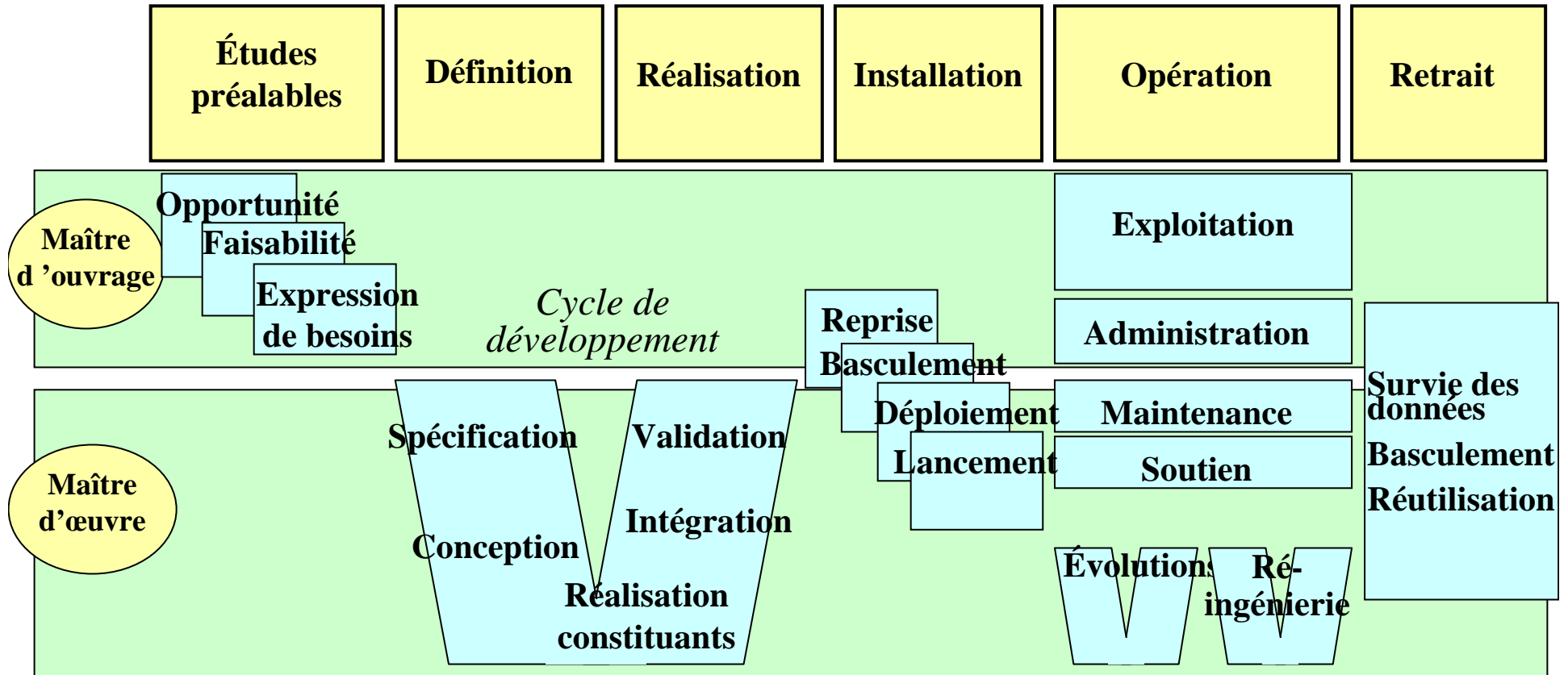
Le métier d'intégration des systèmes



Acteurs d'un projet



Cycle de vie d'un système



Maîtrise du projet par le maître d'ouvrage

- **Problème de base** : obtenir le système répondant strictement au besoin au meilleur coût d'acquisition
$$\text{coût global de possession} = \text{coût d'acquisition} + \text{coût d'exploitation} + \text{coût de maintenance}$$
- En fait : optimiser le rapport *services rendus / coût global de possession*
- Maîtrise :
 - du **processus d'acquisition** : définition des besoins, établissement du cahier des charges, choix du maître d'œuvre, validation des spécifications, recette du système
 - du **processus de management** : mise en place d'une organisation projet

Maîtrise du projet par le maître d'œuvre

Problème de base : faire de bon devis et les tenir
⇒ **Maîtrise** :

- processus de fourniture
- processus de management
- procédé de développement
- processus de soutien
- processus d'assurance qualité

- analyse de l'appel d'offre
- décision de soumissionner
- mise en place du projet de réponse
- définition des grandes lignes de la solution
- choix des sous-traitants
- estimation des coûts, délais, risques
- préparation de la proposition

- Lancement : définition des tâches, du planning, de l'organisation
- management administratif, technique et contractuel des réalisations et de la sous-traitance
- organisation des revues, audits
- gestion des risques

- Méthodes, modèles et outils soutenant les différentes phases du cycle de développement du système

- Gestion de configuration, de documentation
- soutien logistique : approvisionnements, formation des utilisateurs, soutien au maintien en MCO

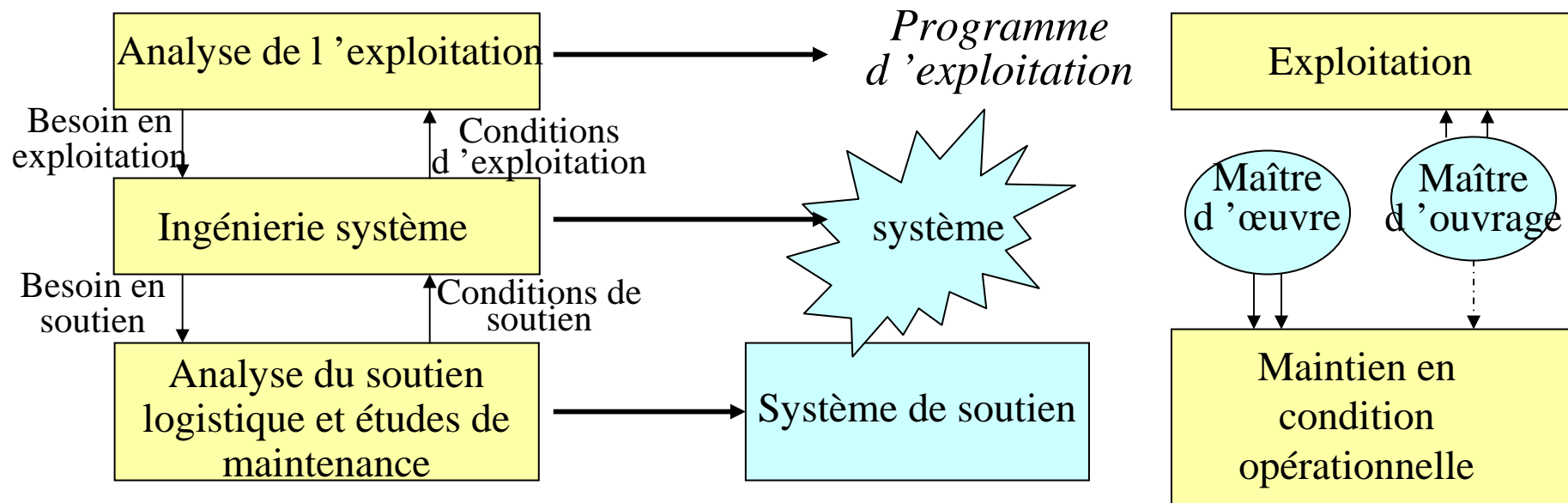
Activités après installation

- Exploitation et administration
 - du ressort du maître d ’ouvrage
 - gérance d ’exploitation, ou infogérance
 - serveurs externes de reprise en secours
- Maintien en condition opérationnelle (MCO)
 - maintenance
 - maintenance réalisée contractuellement par le maître d ’œuvre
 - société de tierce maintenance
 - premier niveau de maintenance par l ’entité utilisatrice
 - évolutions du système (évolution de la mission, de l ’environnement, des technologies, besoin d ’interopérabilité)
- Le soutien logistique

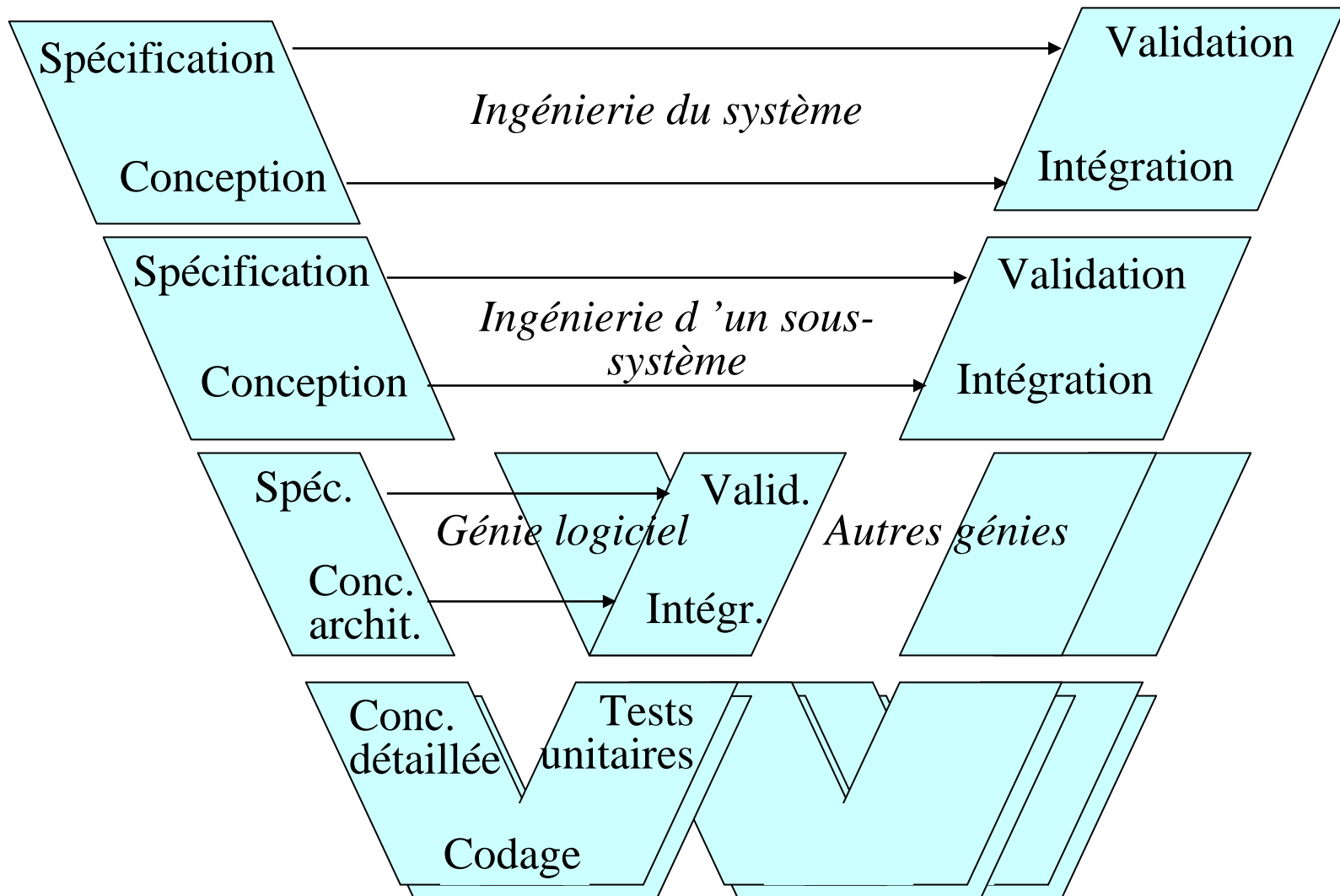
Le soutien logistique

- Le déploiement, l'exploitation et le maintien en condition opérationnelle peut impliquer une mise en place logistique importante \Rightarrow **soutien logistique**
- le soutien logistique **intégré** est analysé en même temps que l'ingénierie du système

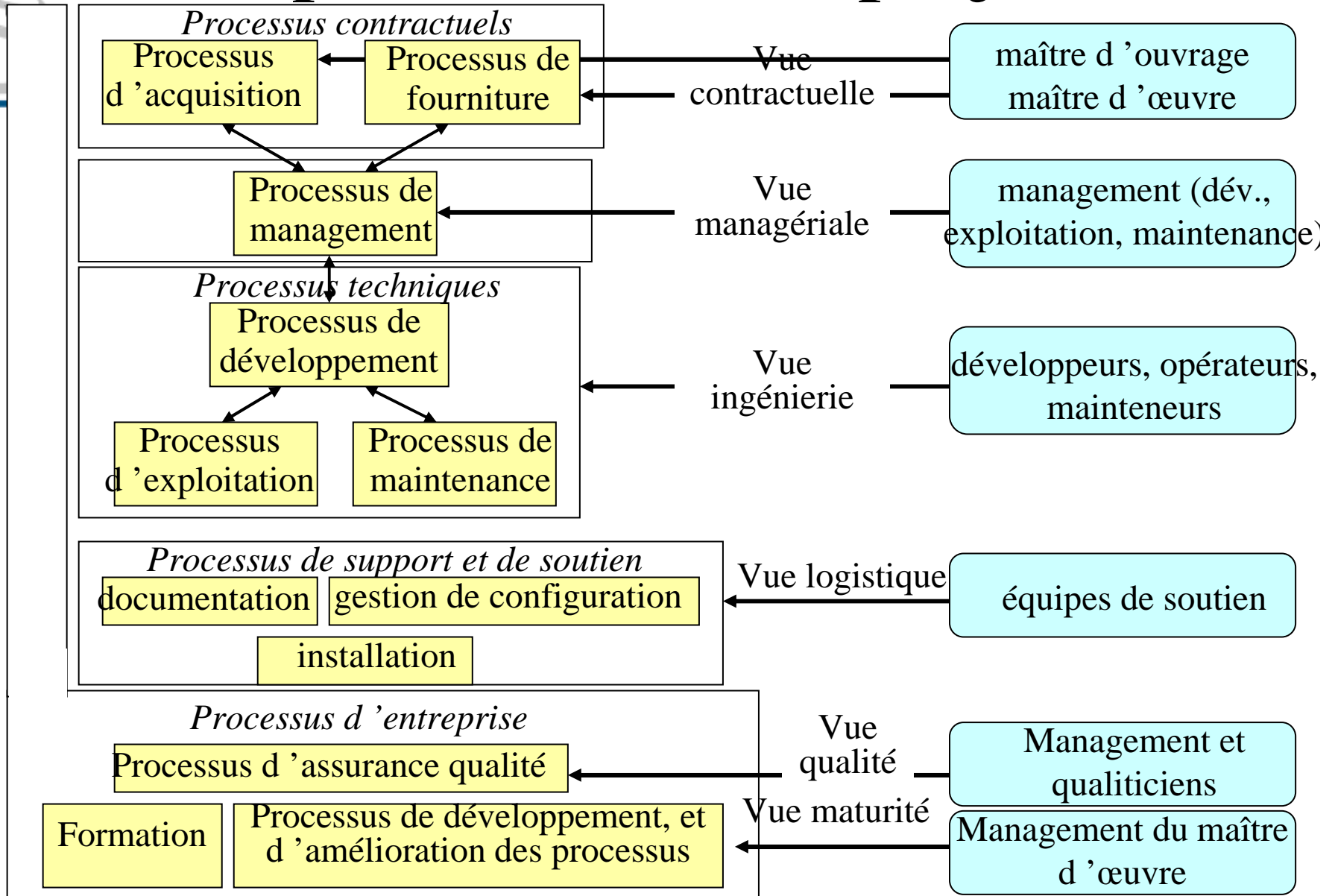
Phase de développement



Cycle de développement d'un système



Les processus d'un projet



Maîtrise de l'entreprise d'intégration de systèmes

Maîtrise des devis en
coût, délais, fonction,
qualité

Maîtrise des moyens,
capitalisation

