



Une école en
mouvement

MO103

Introduction à l'ingénierie système

Thibault Toralba



Agenda

➤ L'ingénierie dans les projets étudiants

Conception de robots pour la Coupe de France de Robotique

➤ Formation à l'Ingénierie Système

Introduction : à propos des systèmes

Emergence et expression des besoins

Passage du besoin à l'exigence

Rédaction d'une Spécification Technique du Besoin

Conception de l'architecture

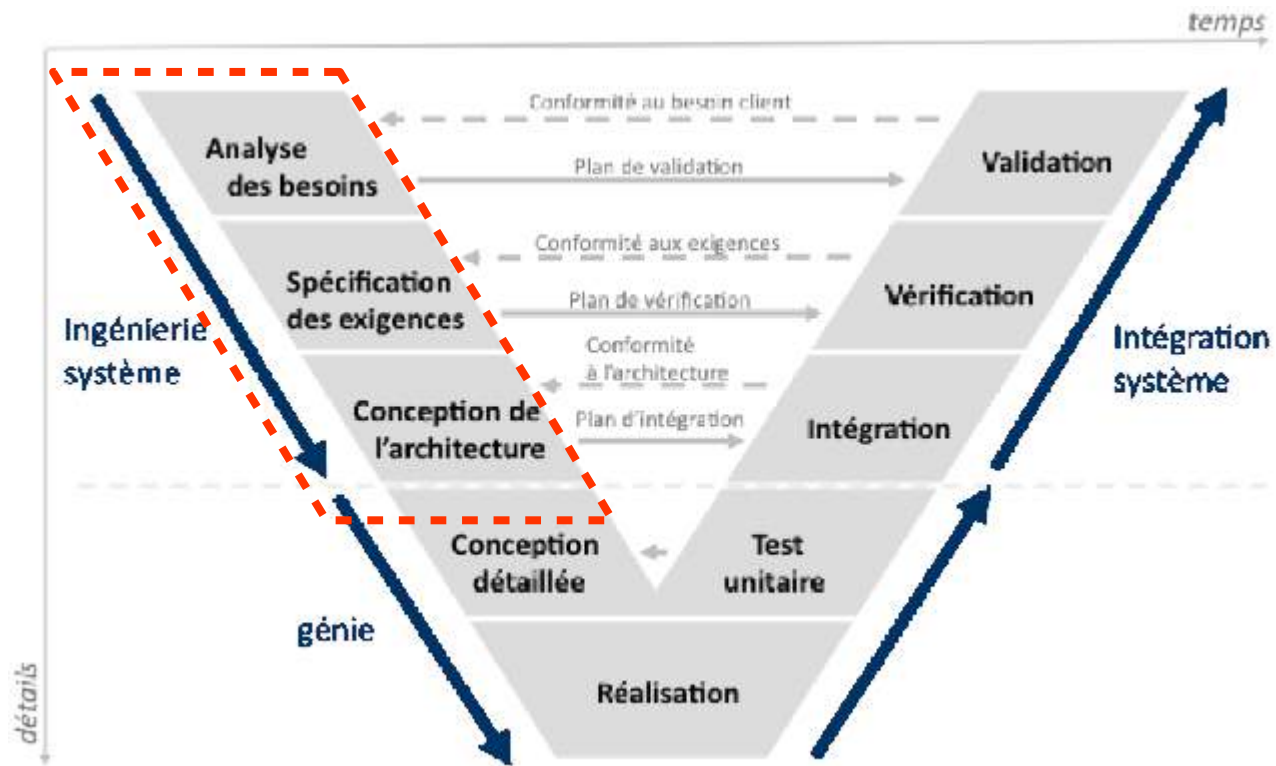
Tests, vérifications et validations

➤ Semaine projet

Projet robot sumo

Conception de robots pour la Coupe de France de Robotique

INTRODUCTION À l'ingénierie système



INTRODUCTION

A propos des systèmes

0. Introduction

Un système, c'est quoi ?

Définition et exemples

Définition

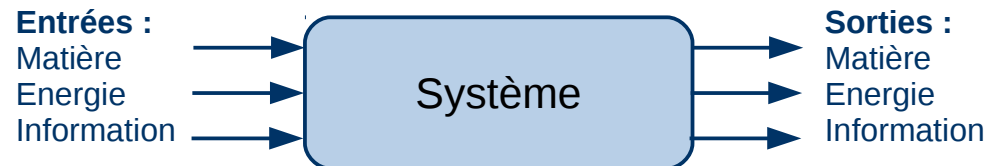
citation de J.L. Lemoigne — Théorie du système général — Ed. PUF

On appelle **système** un assemblage, une collection organisée (possédant une structure) d'objets reliés ou branchés (en interrelation) les uns aux autres, de façon à former une entité ou un tout remplissant une ou plusieurs fonctions.

Exemples de systèmes :

- *Système nerveux, combinaison d'éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat*
- *Système linguistique, ensemble de termes définis par les relations qu'ils entretiennent entre eux.*
- *Système capitaliste, système de parenté : modes d'organisation.*
- *Système d'équations : ensemble de plusieurs équations liant simultanément plusieurs variables.*
- *Système industriel : ensemble artificiel de pièces destiné à répondre à un besoin (du grand public, des entreprises, . . .).*

Un système sera vu comme une **boîte noire** dans le comportement est la **séquence de valeurs** au cours du temps des **entrées et des sorties**.



0. Introduction

Un système, c'est quoi ?

Elements de langage

Définition

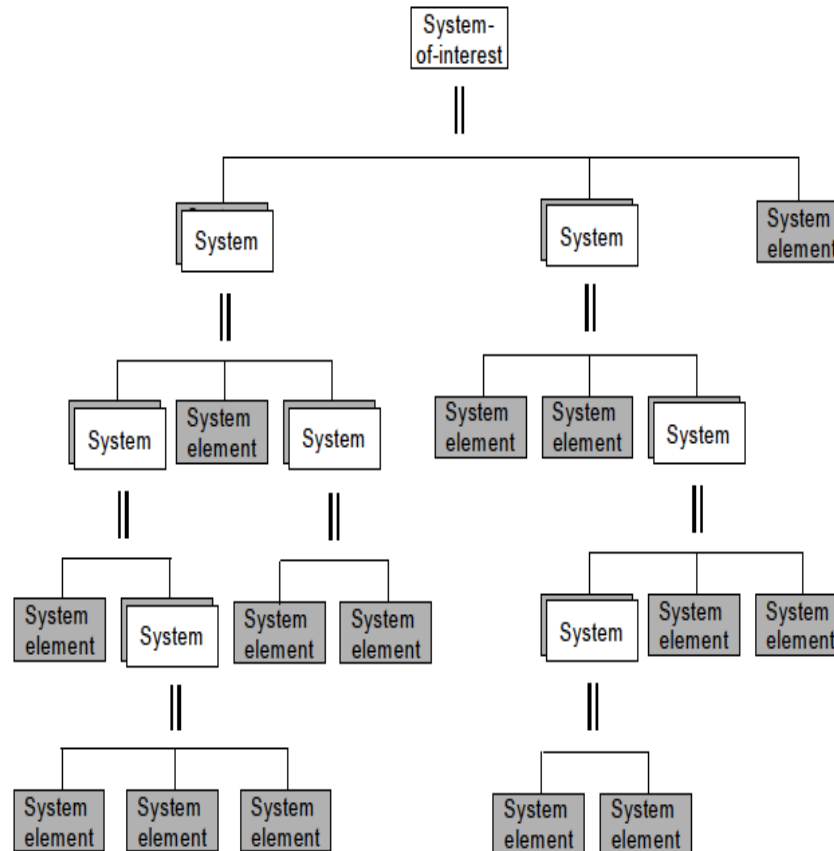
Systeme d'intérêt

Le système dont on considère le cycle de vie.

Définition

Element du système

Un membre parmi l'ensemble qui constitue le système, et pouvant être un système.



0. Introduction

Un système, c'est quoi ?

Théorie des systèmes et complexité

Définition *Larousse*

Théorie des systèmes

Théorie générale et interdisciplinaire qui étudie les systèmes en tant qu'ensembles d'éléments, matériels ou non, en relation les uns avec les autres et formant un tout.



*Démarche déductive permettant de déterminer le comportement d'un **système simple**.*

Définition *Larousse*

Complexité

Qui contient plusieurs éléments différents et combinés d'une manière qui n'est pas immédiatement claire pour l'esprit, qui est difficile à analyser.

Un **système complexe** s'oppose à un **système simple** où une information d'entrée permet de trouver le comportement de sortie par une **analyse déductive**. Un système industriel est par nature complexe puisque les fonctions résultent de l'**ensemble des interactions** entre les différents composants.

L'analyse des systèmes complexes nécessite elle de modéliser le comportement des composants du système et de leurs interactions.

0. Introduction

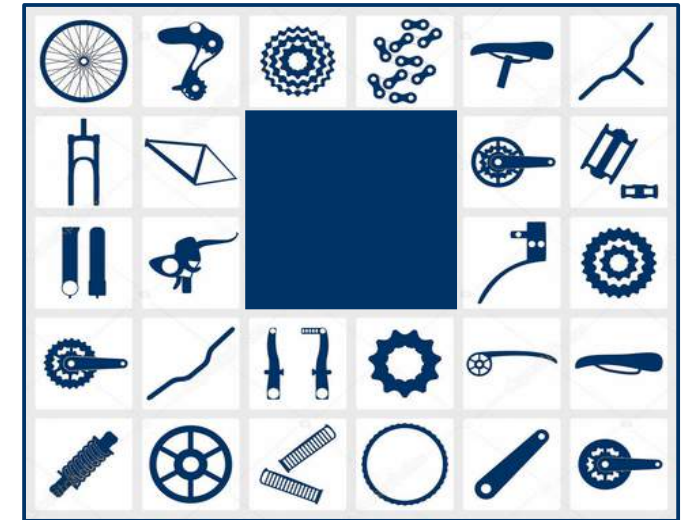
Un système, c'est quoi ?

Description système : de l'intérêt des interactions



Il suffit de connaître tous les éléments d'un ensemble pour connaître l'ensemble. Mais il ne suffit pas de connaître tous les composants d'un **système** pour connaître le système, il faut aussi connaître les **relations entre les composants**.

Un système n'est jamais isolé, il **interagit avec l'extérieur**. Pour modéliser un système, il faut donc non seulement modéliser ses **constituants**, les **liaisons** entre ces constituants, mais aussi les **relations avec les éléments du milieu extérieur** (EME) qui définit les limites du système.



*Connaître tous les éléments du système
vélo ne suffit pas pour comprendre le
fonctionnement du système*



le vélo est en relation avec **l'homme**, **le sol** et **l'air** qui sont des éléments du milieu extérieur pour le système vélo.

0. Introduction

Un système, c'est quoi ?

Principales caractéristiques d'un système

Un contexte : environnement dans lequel le système s'insère

- Type de milieu environnant (milieu marin, milieu domestique...),
- Domaine d'application (transport, mécanique agricole, sports nautique...),
- Type de publique utilisateur (professionnel du bâtiment, particulier, jeunes...),
- Niveau de qualité par rapport aux systèmes concurrents,
- Etc.

Un périmètre bien défini / frontière : La frontière d'un système est une limite réelle ou fictive, partageant l'ensemble des composants considérés comme appartenant au système du reste, appelé milieu extérieur.

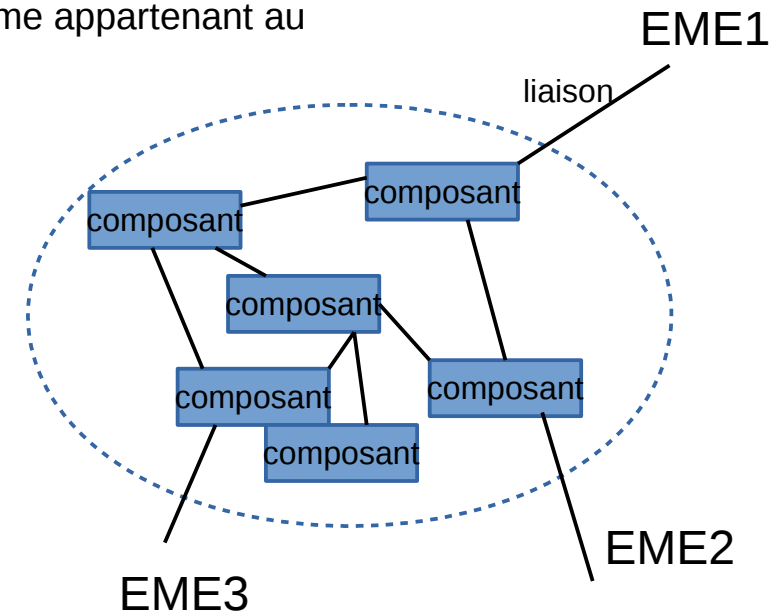
Un nombre fini de composants intégrés

Une récursivité : un élément à n'importe quel niveau du système considéré peut être considéré comme un système.

Des relations internes entre chacun de ses composants (hiérarchique ou non)

Des relations externes : le système interagit toujours avec l'extérieur (EME)

(impact environnemental)



0. Introduction

Pourquoi l'ingénierie système ?

Produits de plus en plus complexes

Exemple de la voiture : Chassis + carrosserie + chaîne d'entraînement + distribution électrique + capteurs + confort + mobilité + réglementation + style + prix + livraison + maintenance + etc.

Définition

L'Ingénierie Système (IS, ou ingénierie de systèmes) est une démarche **méthodologique** (systématique), **coopérative** et **interdisciplinaire** qui englobe l'ensemble des bonnes pratiques pour concevoir, faire évoluer et vérifier (de façon holistique) un système apportant **à temps** une solution **économique** et **performante** aux **besoins** des **parties prenantes** et acceptable par tous.

En pratique, l'ingénierie système fournit des outils pour :

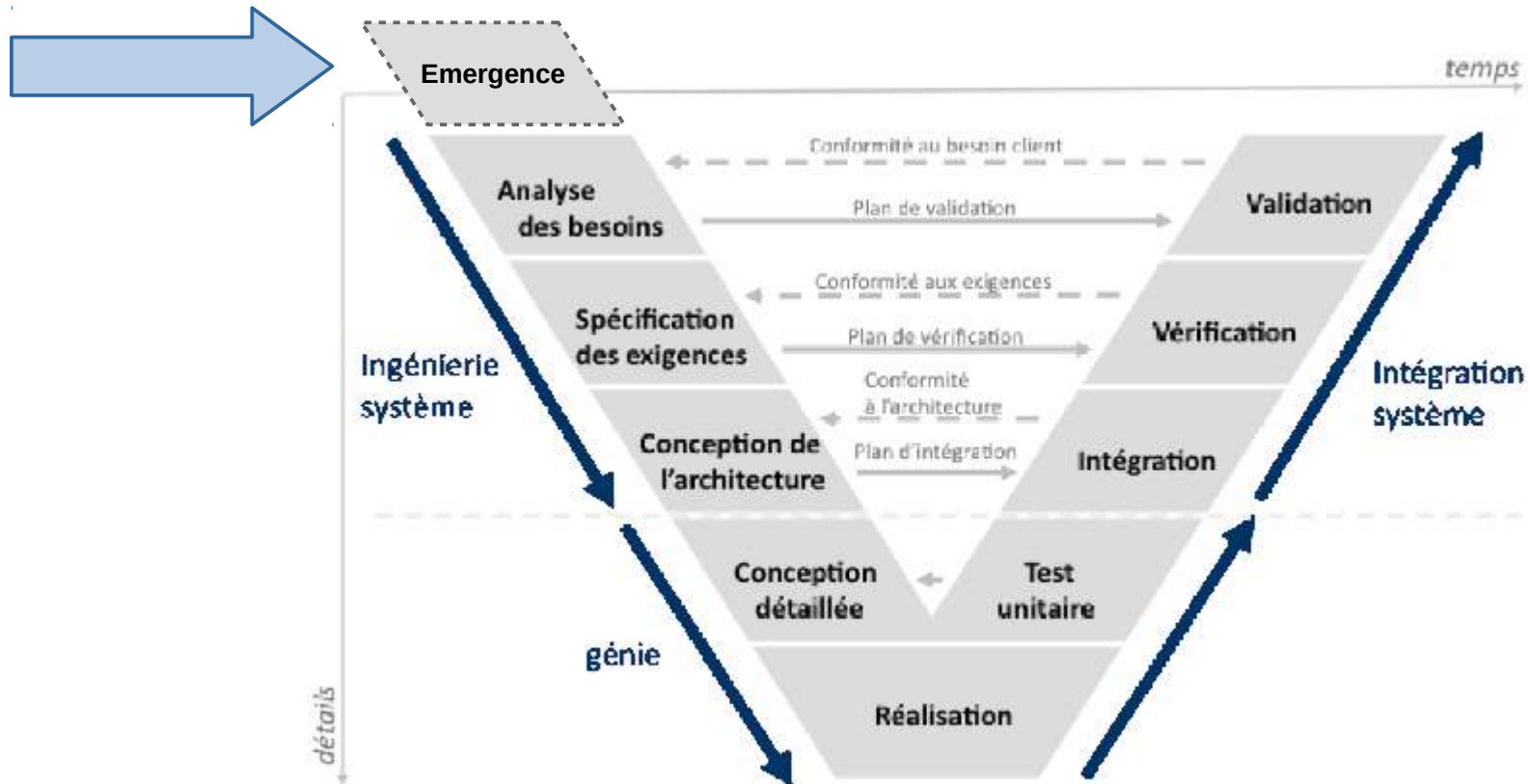
- Cerner les interacteurs
- Formaliser le souhait du client dans un cahier des charges
- Transformer les besoins en exigences techniques vérifiables
- Modéliser le système en cours de réalisation
- valider et optimiser au fur et à mesure de la conception vis à vis du cahier des charges
- Etc.

EMERGENCE ET EXPRESSION DU BESOIN

Cerner la finalité du système

1. Emergence et expression du besoin

Contexte



1. Emergence et expression du besoin

Contexte

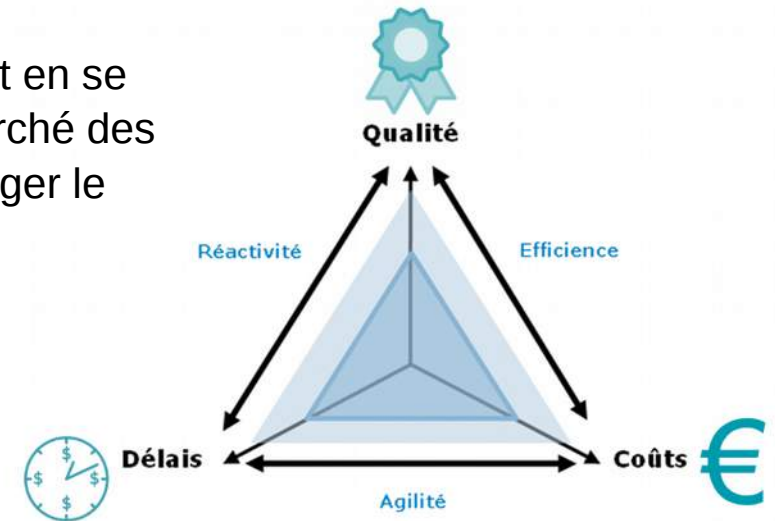
Quelques mots sur le marché

But d'une entreprise : **survivre, développer, satisfaire le client.**

Pour **satisfaire le besoin** (exprimé ou implicite) d'un client en se développant, les entreprises cherchent à mettre sur le marché des produits d'un **qualité** maximale à moindre **coût** pour dégager le plus grand **bénéfice**.

Différentes stratégies peuvent être choisies :

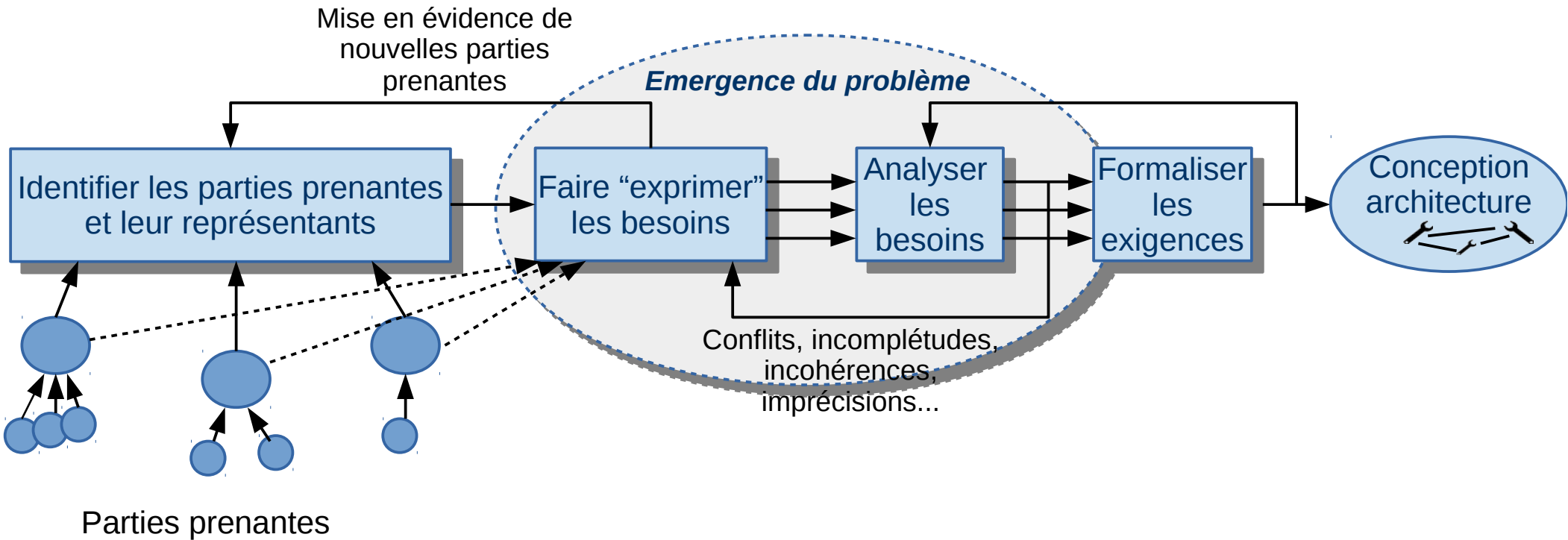
- Proposer la meilleure qualité
- Le plus rapide sur le marché
- Le moins cher
- Le plus satisfaisant (**fidélité**)
- Etc.



Mais quel besoin ?

1. Emergence et expression du besoin

Un processus itératif



1. Emergence et expression du besoin

Contexte

Les “parties prenantes”

Définition

Personnes physiques et organisations concernées directement ou indirectement par le futur système.

- **Parties prenantes « intéressées »**

- utilisateurs directs, représentants de futurs clients (marketing, associations)
- Personnes concernées par le système (ventes, actionnaires, ...)
- Opérateurs exploitants
- Management **MOA**



Représentant des parties prenantes liées à l'utilisation et l'exploitation

- **Parties prenantes « impliquées »**

- Réalisation ou **MCO** du produit



Maintien en Condition Opérationnelle, gestion des modes dégradés...

- **Parties prenantes « potentiellement concernées »**

- Impact du système à plus ou moins long terme

1. Emergence et expression du besoin

Un peu de formalisme

Besoin



Exigence

Définition

AFNOR X50-150

Le **besoin** est une nécessité, un désir, un manque ou une insatisfaction éprouvée par une partie prenante.

Un besoin n'est pas **exprimé**, il est brut, potentiellement incomplet, peut porter à confusion, et nécessite d'être traduit en...

Définition

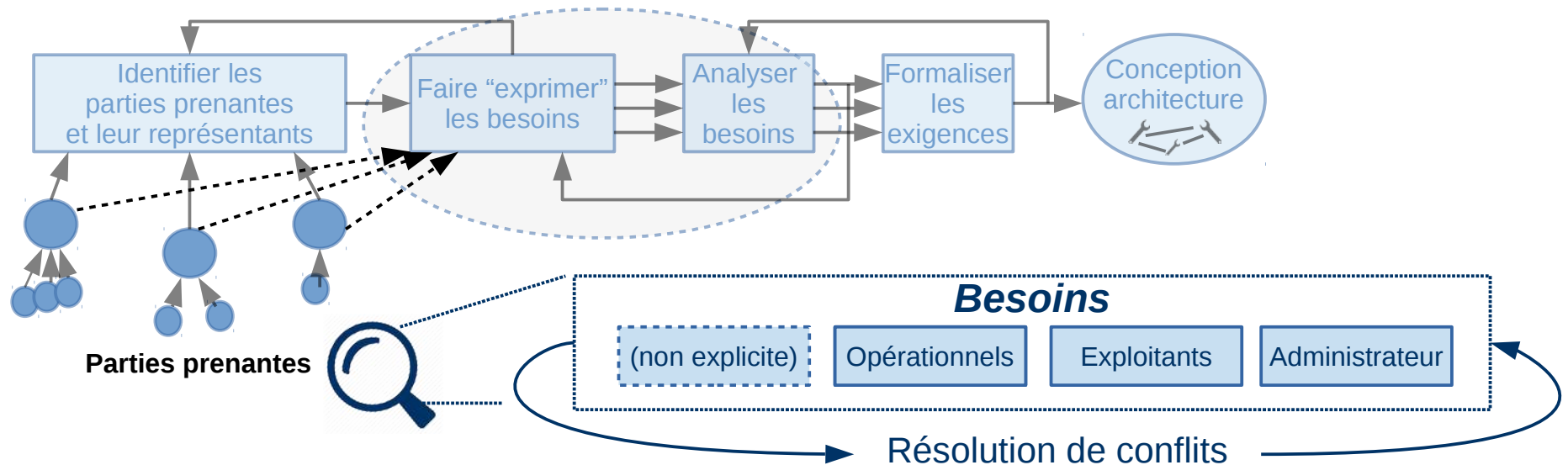
Exigence (*point de vue utilisateur*) : Formulation du problème ou d'une attente d'une partie prenante

Définition

Exigence (*point de vue système*) : Propriété que doit avoir le produit (ou un composant du produit) pour satisfaire un contrat, une norme, une spécification. Exprimé en "langage fournisseur"

1. Emergence et expression du besoin

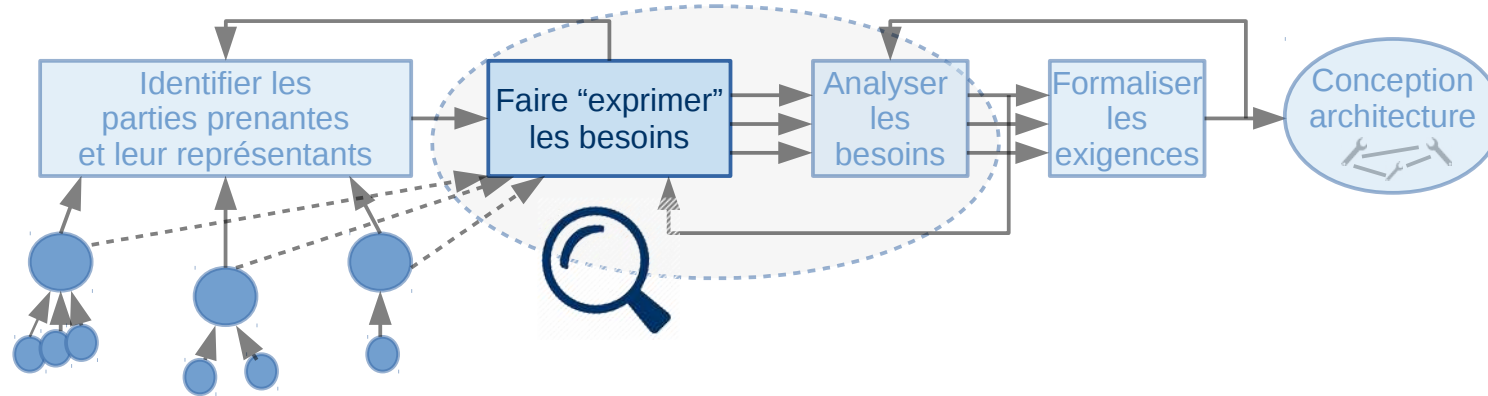
Source des attentes et contraintes



- **Contrainte environnementales** : écologie, économie, organisation, culture, législation, politique...
- **Contrainte de développement** : intégration, essais, production, maintenabilité, coût, délais...
- **Contraintes humaines** : ergonomie, capacité de recrutement, de formation, compétence des équipes...
- **Contraintes techniques** : état de l'art, procédés maîtrisés, politique industrielle, sous-traitant, normes, compétences internes
- **Contrainte post-production** : déploiement, exploitation, maintenance, soutien logistique, retrait...
- **Interface avec systèmes existants et futurs**
- **Marché** : produits existants
- ...

1. Emergence et expression du besoin

Concrétisation de la Spécification Fonctionnelle...

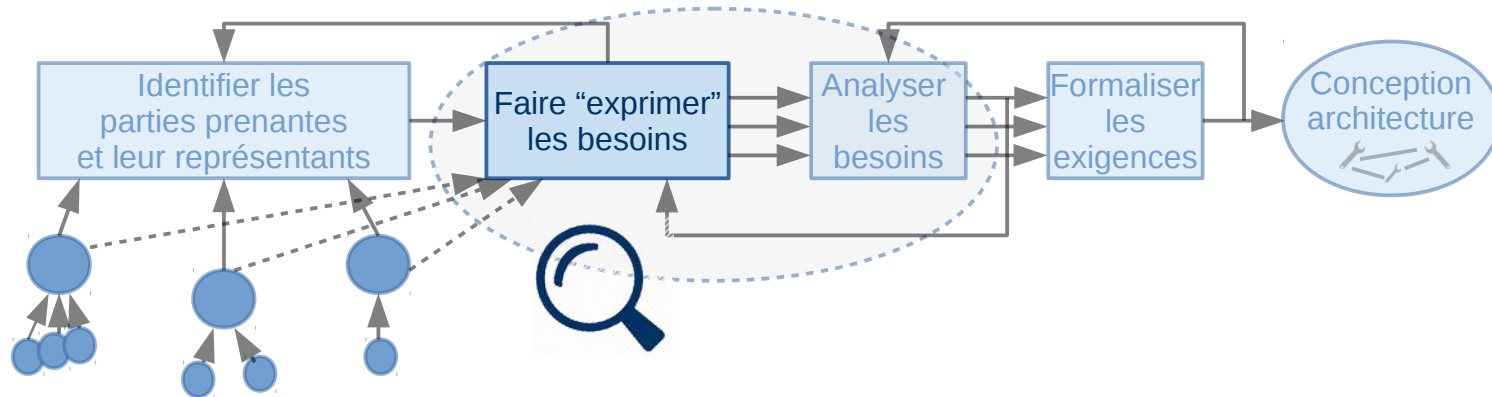


...à travers la rédaction du Cahier des Charges Fonctionnelles

Le CdCF est le document par lequel le demandeur **exprime son besoin** (ou celui qu'il est chargé de traduire) en termes de **fonctions** de service et de contraintes. Pour chacune d'elles sont définis des **critères d'acceptation** et leurs **niveaux**. Chacun de ces niveaux peut être assorti d'une **flexibilité**.

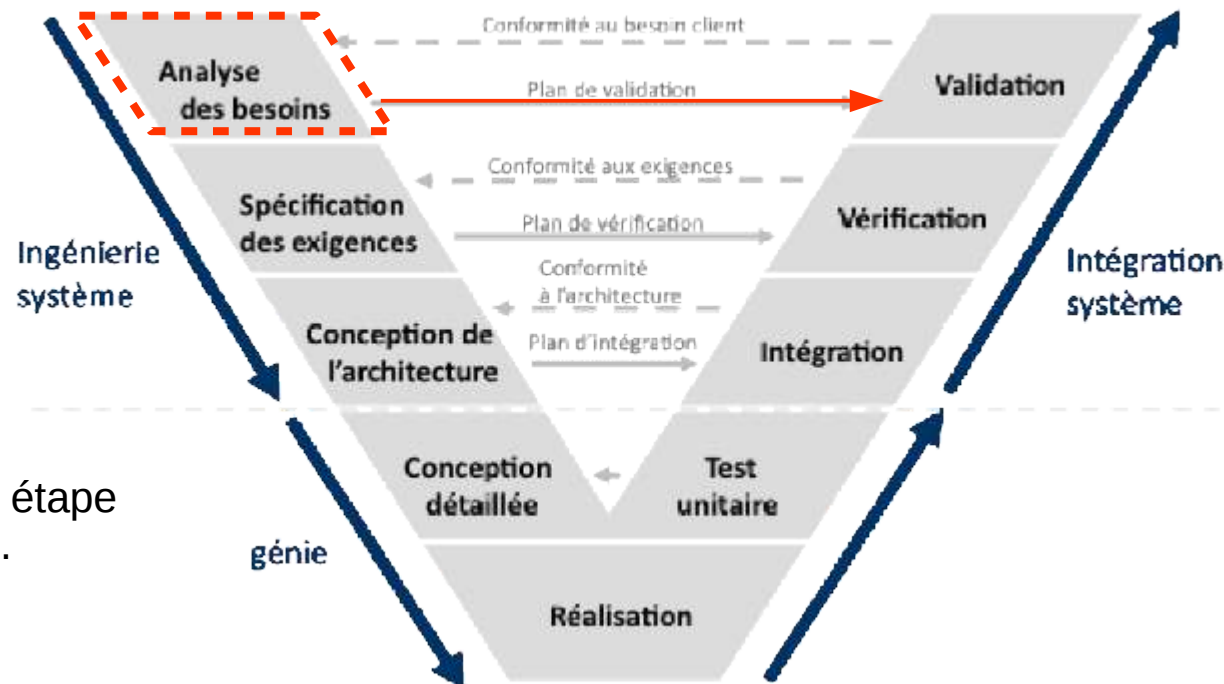
1. Emergence et expression du besoin

La base du processus



Les **besoins clairement exprimés** serviront de référence pour la **spécification des exigences techniques** et pour la **validation** finale du produit à travers les critères d'acceptation.

Un **plan de validation** est édité à cette étape pour suivre les tests en fin d'intégration.

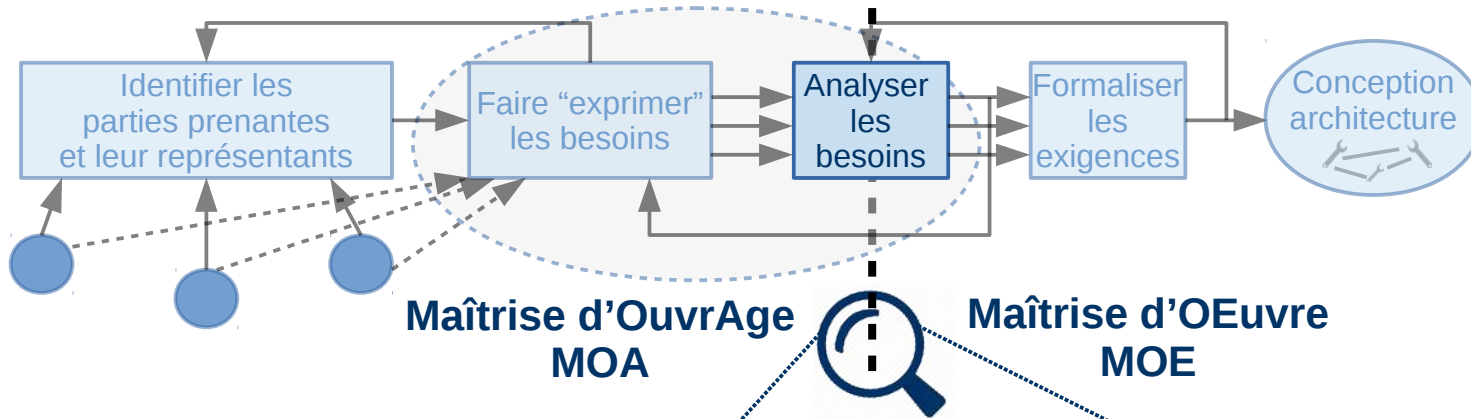




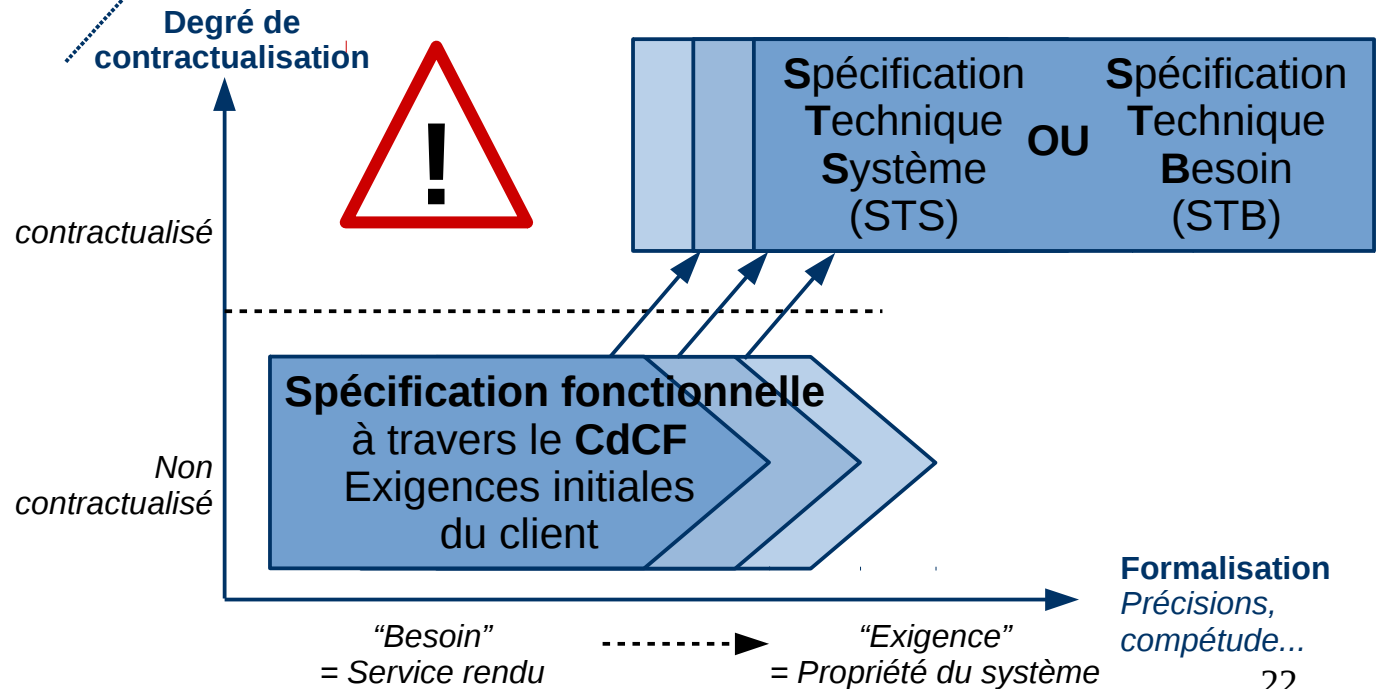
DU BESOIN A L'EXIGENCE

Vers la formalisation

2. Passage du besoin à l'exigence procédure

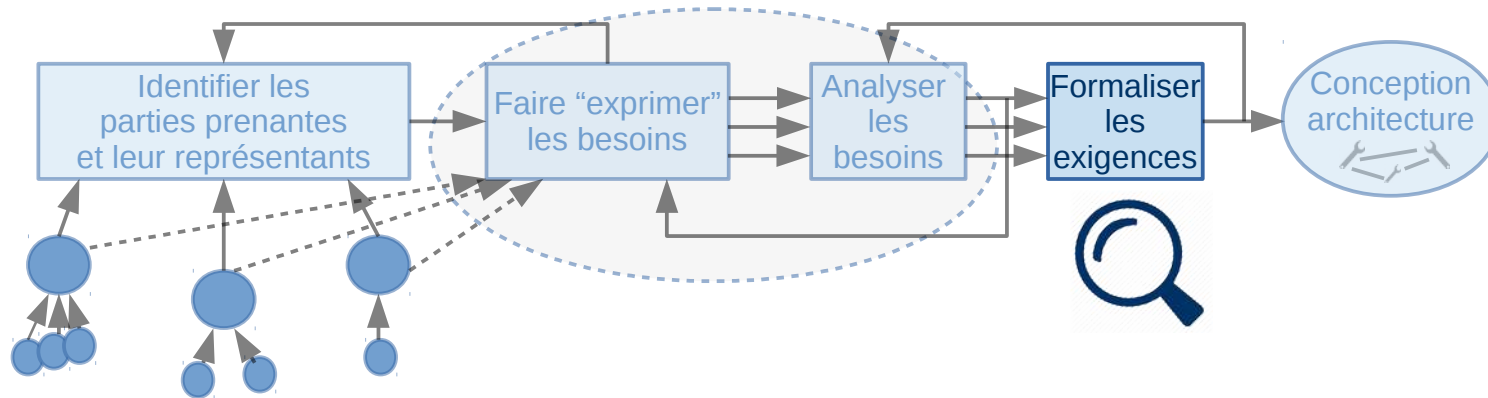


- 1) **Expression des besoins**
par le MOA lors des études
préalable
- 2) **Analyse des besoins MOA**
→ rédaction du CdCF
- 3) **Spécification des
exigences systèmes**



2. Passage du besoin à l'exigence

Contenu des exigences

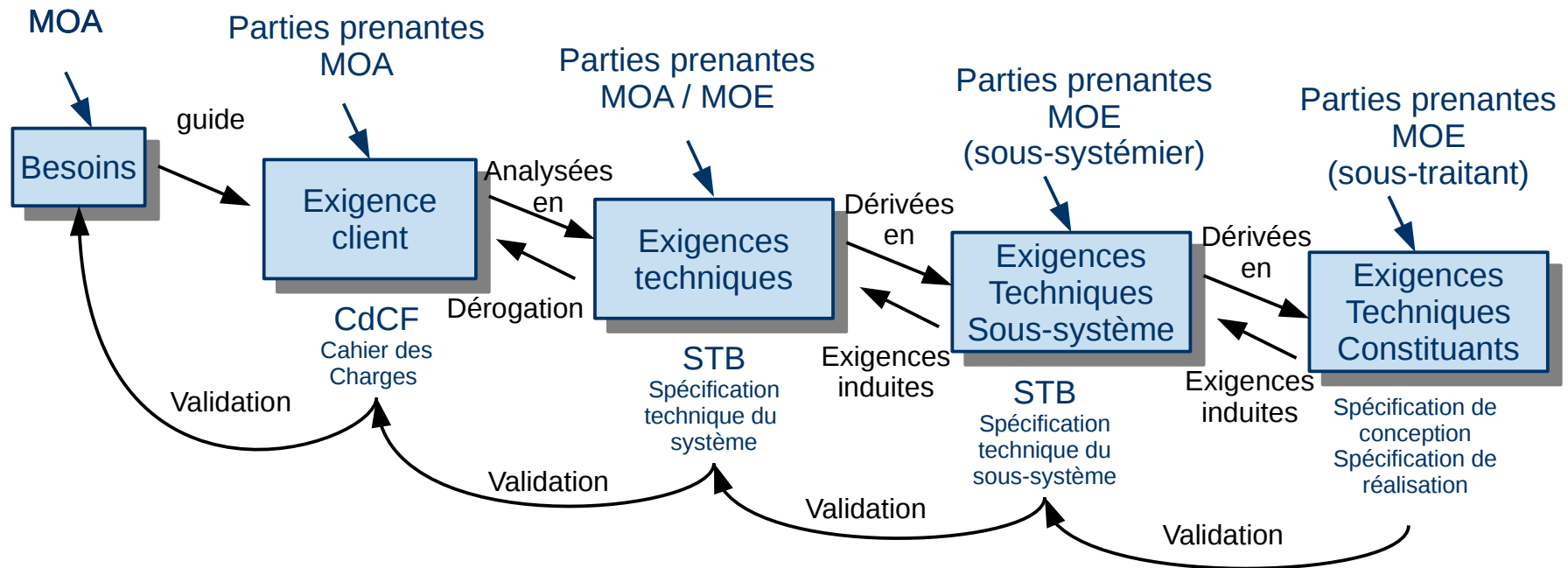


Une **exigence technique** doit être correctement formulée pour être :

- **Compréhensible** – Elle utilise les mêmes termes et significations que les autres exigences, n'entre pas en contradictions avec elles, etc.
- **Précise** (non ambiguë) – Elle ne doit avoir qu'une seule interprétation possible.
- **Unitaire** – Elle ne traite que d'un point, une performance, etc. de façon concise.
- **Exhaustive** – Aucun texte supplémentaire n'est nécessaire pour comprendre l'exigence.
- **Priorisées** – Primordiale, importante, ou souhaitable.
- **Vérifiable** – Son atteignabilité doit pouvoir être montrée par inspection, analyse, démonstration, ou test.

2. Passage du besoin à l'exigence

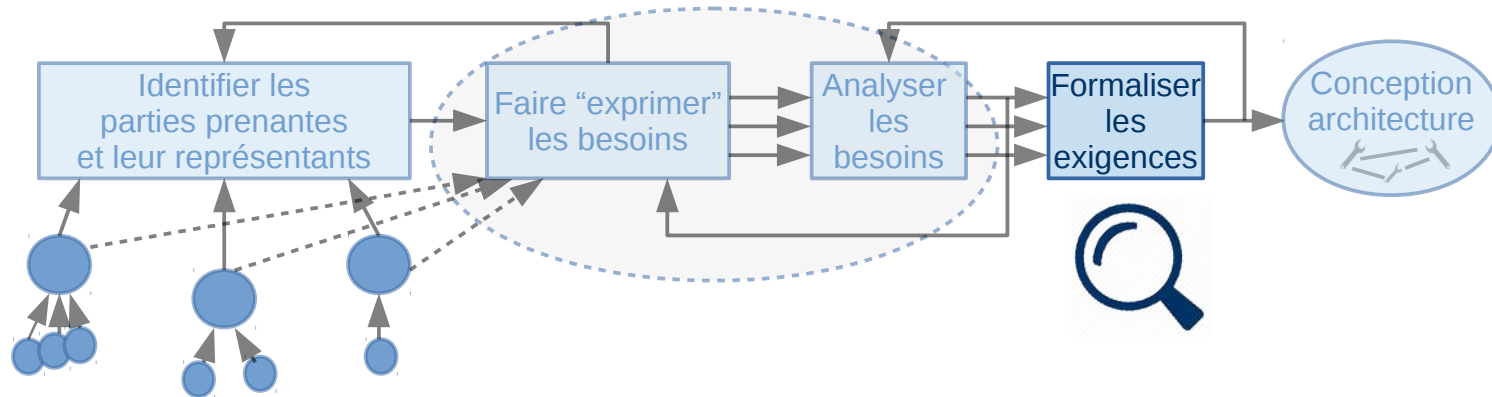
Gestion de la chaîne des exigences



- Gestion de la chaîne des exigences depuis la finalité du système (besoin client) jusqu'aux exigences détaillées de chacun des constituants
- Les référentiels d'exigence successifs sont élaborés, gérés, vérifiés
- Toute évolution, allocation, modification doit être **tracée**

2. Passage du besoin à l'exigence

Rédiger la Spécification Technique de Besoin (STB)

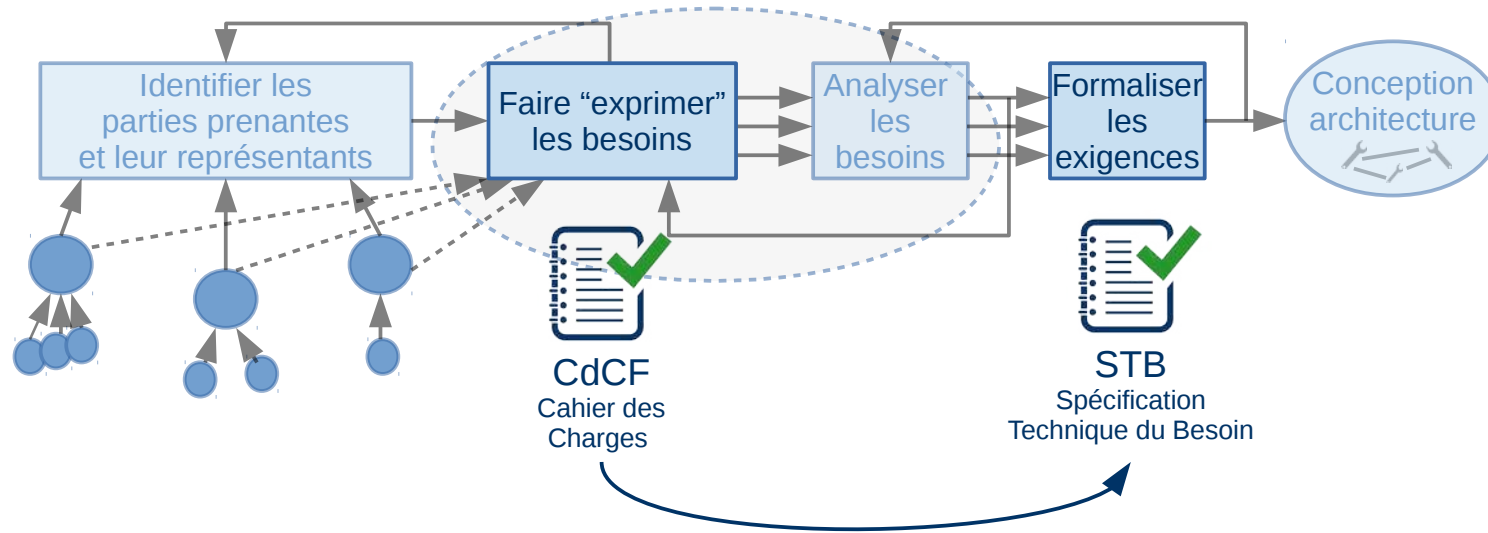


La STB est un **document contractuel** établi par le **demandeur** d'un produit à l'intention du **concepteur** et par lequel il exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en termes d'**exigences techniques**. La STB va notamment spécifier :

- les **exigences fonctionnelles** associées aux divers profils de mission prévue en tenant compte des conditions d'environnement,
- les **exigences opérationnelles** (Sûreté de fonctionnement, Soutien logistique, etc),
- les **exigences** relatives aux **interfaces**,
- les **exigences** concernant la **conception** et la **production** (solutions imposées ou interdites, normes applicables, etc.),
- les **exigences d'assurance de résultat** (justifications, qualification, acceptation).

2. Passage du besoin à l'exigence

Relation entre CdCF et STB



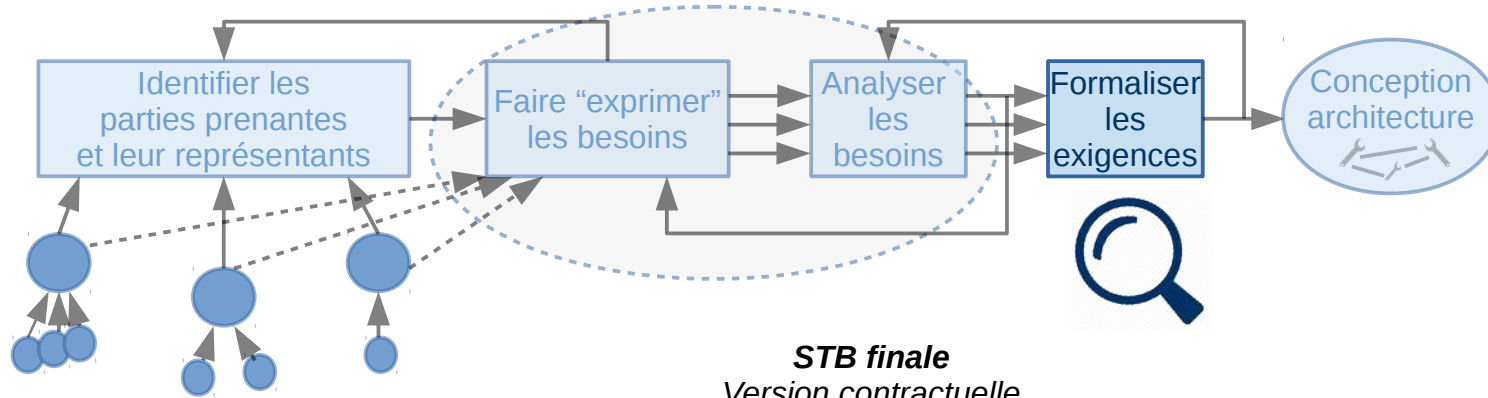
Le "CdCF-système" sert de base à la rédaction de la STB système.

La STB sera conçue de façon incrémentale, en fonction des solutions possibles et des choix retenus, en accord avec la stratégie Performance – Coût – Délais. Durant cette phase de rédaction, on dit que le système passe de l'état **fonctionnel** - décrit selon le besoin - à l'état **spécifié**.

Après accord sur le contenu du projet final, le client émet la STB finalisée.

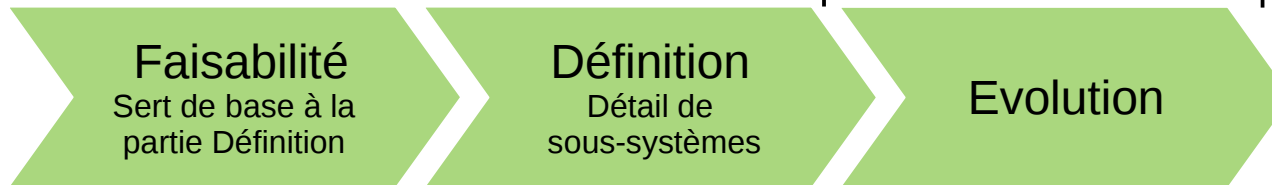
2. Passage du besoin à l'exigence

Etapes de la STB



STB finale
Version contractuelle
Plus détaillée (environnement,
exigences interfaces, qualification...)

STB actualisée



STB préliminaire
Transcrit le besoin en
termes techniques précis

Client : évolution du besoin,
de la mission, des
exigences...
Fournisseur : re-estimation
des coûts et délai

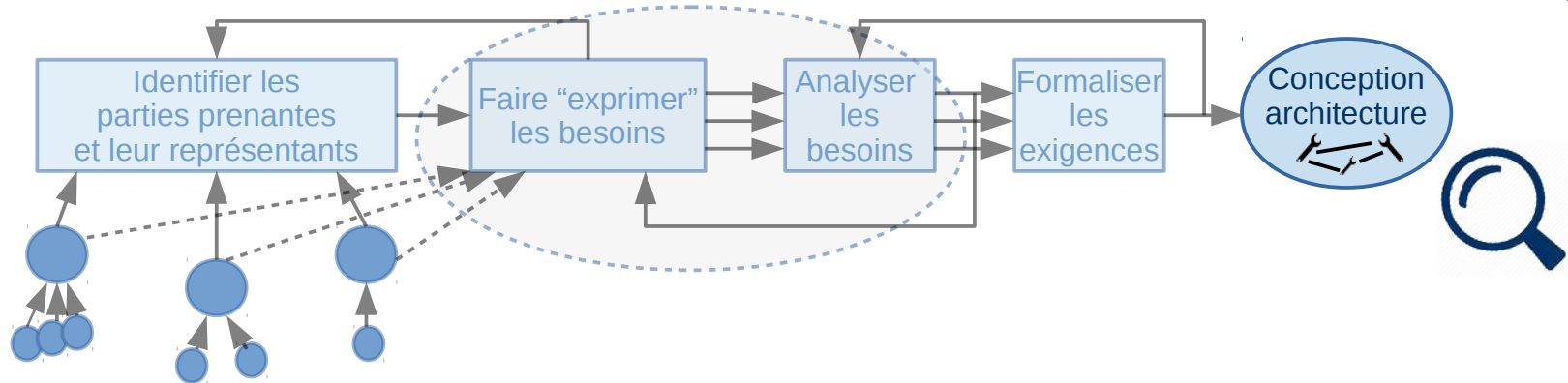


CONCEPTION

Vers la définition de l'architecture

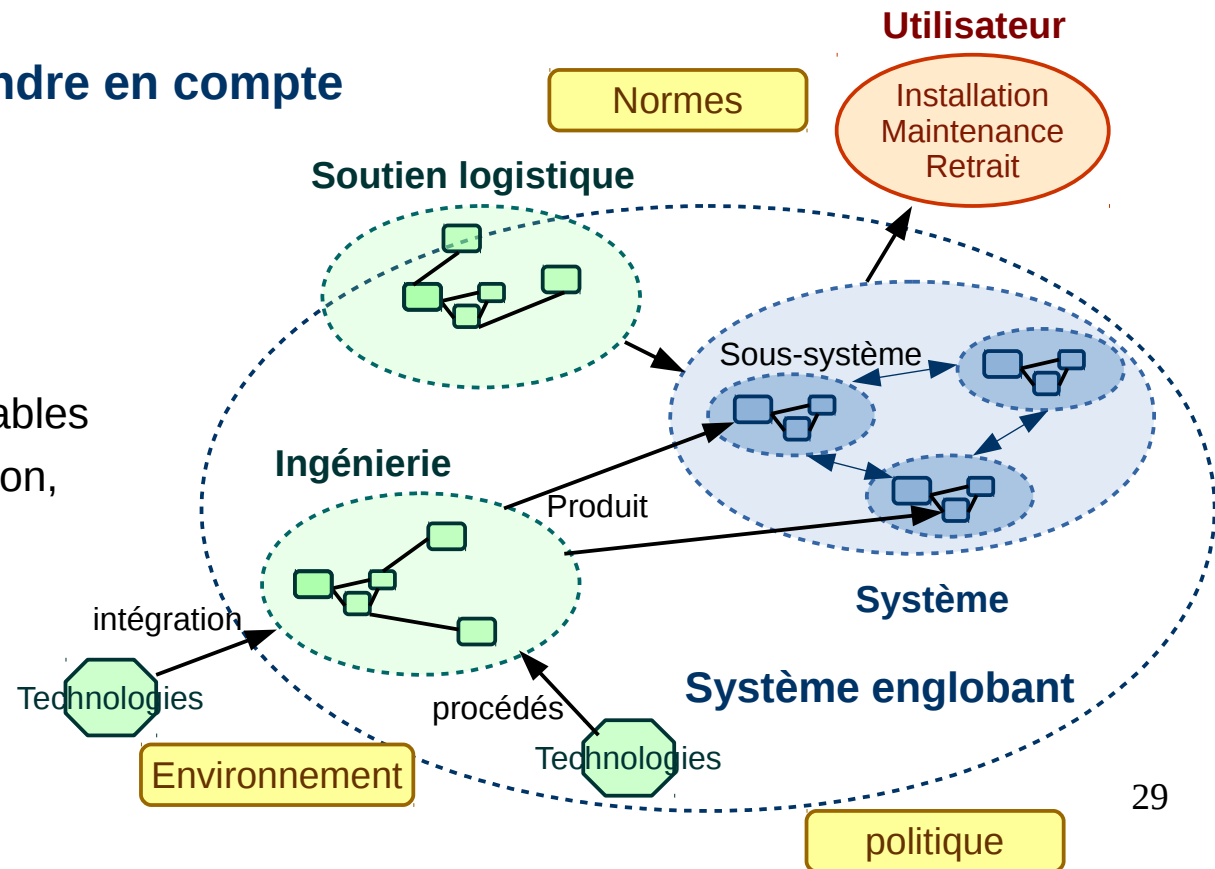
3. Conception de l'architecture

Analyse Fonctionnelle / Logique



Complexité des éléments à prendre en compte

- Ensemble des exigences
- Système englobant
- Système opérant + ingénierie
- Soutien logistique
- Technologies disponibles / utilisables
- Etapes du cycle de vie (installation, maintenance, retrait)
- Coût, délais
- Standards
- Etc.

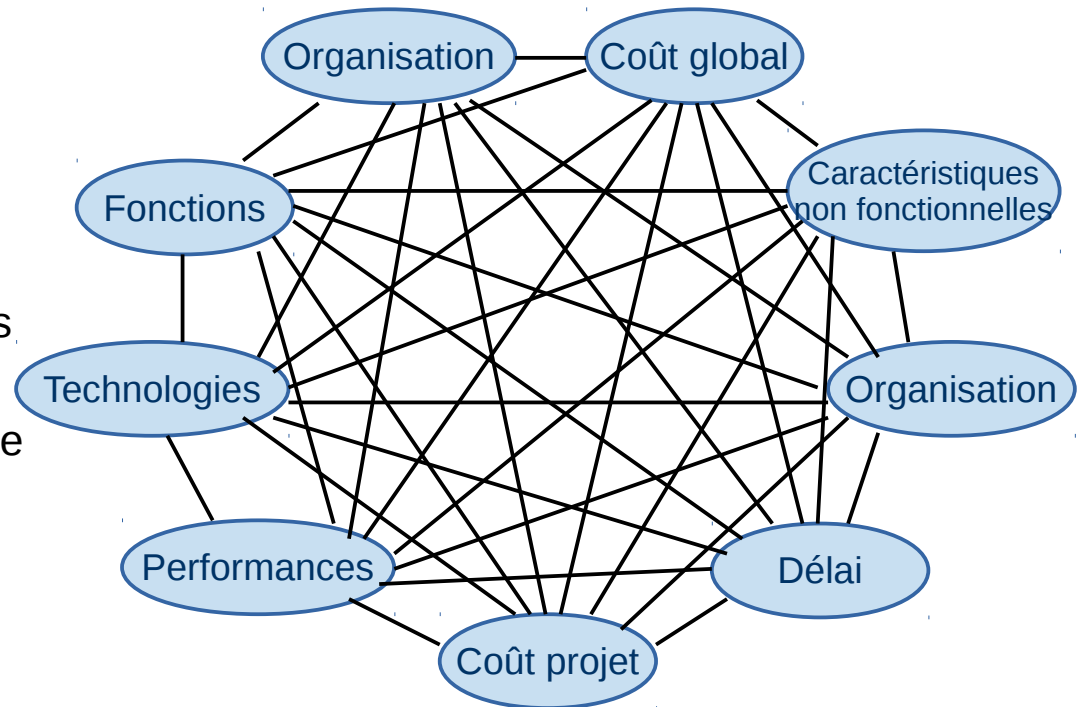


3. Conception de l'architecture

Analyse Fonctionnelle / Logique

Comment s'organiser face au nombre de conflits possibles et problèmes d'optimisation ?

- Partage des outils, modèles, langages communs pour faciliter les échanges
- Analyse systémique des problèmes et risques qui émergent des conflits entre chaque pôle
- Décomposition itérative de l'analyse des exigences en fonctions
- Définition de chaque fonction sous forme de :
 - Transformation d'entrées / sorties
 - Comportement dynamique
 - Interactions



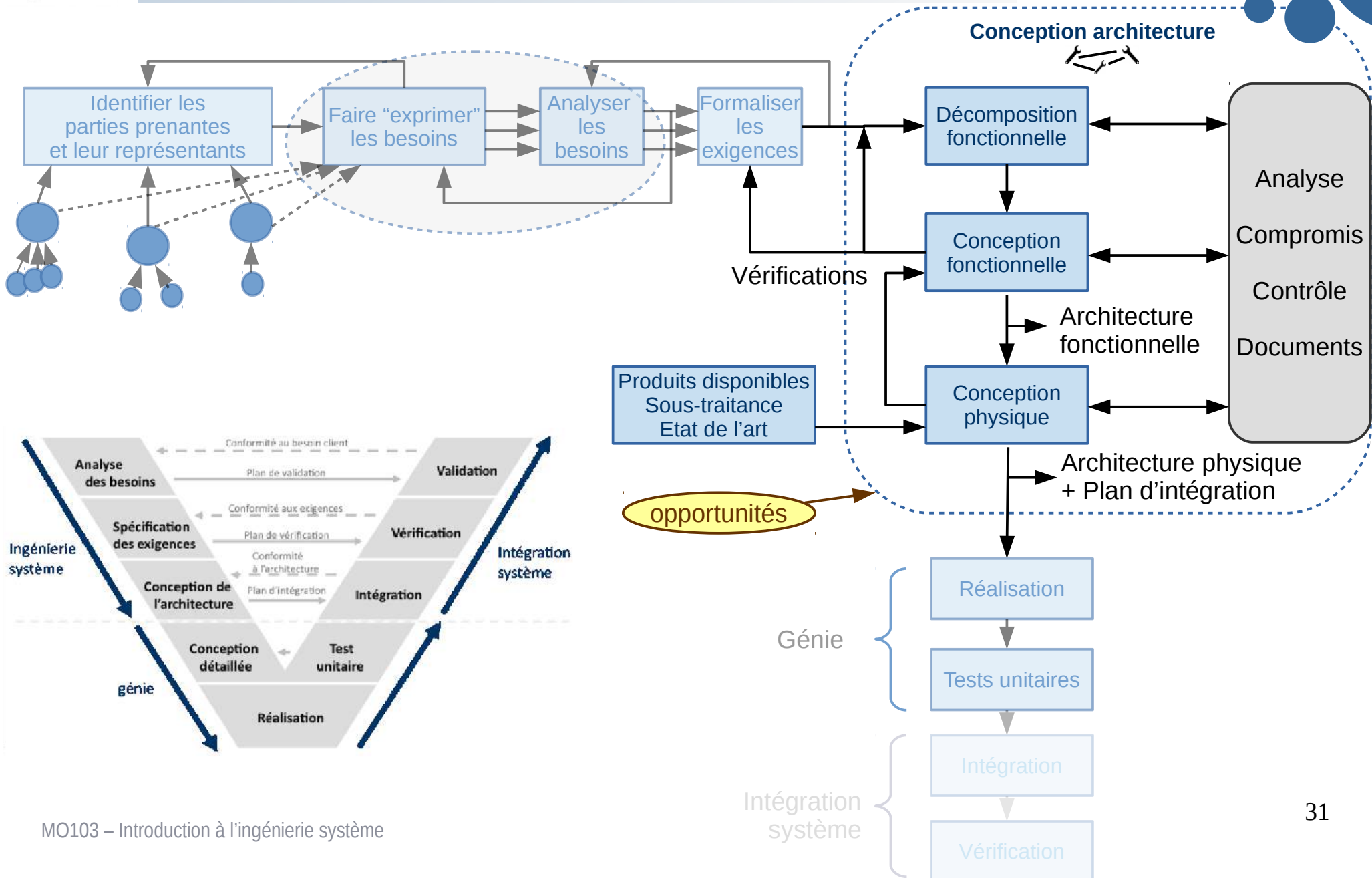
Définition

L'**Analyse Fonctionnelle** est la démarche qui consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions.

De cette **décomposition fonctionnelle** découlera l'**architecture fonctionnelle** du système.

3. Conception de l'architecture

Analyse Fonctionnelle / Logique



3. Conception de l'architecture

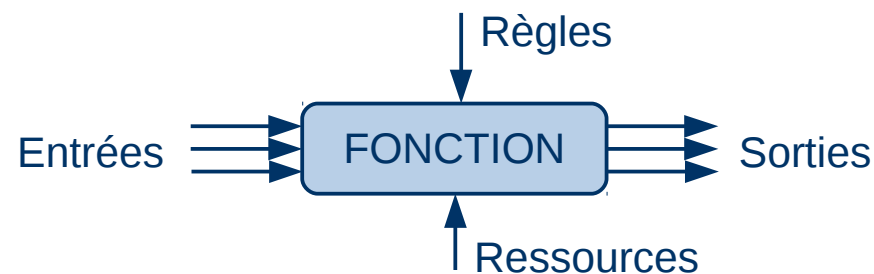
Décomposition fonctionnelle

But : développer l'architecture fonctionnelle du système par décomposition itérative de fonctions de l'analyse des exigences

Définition

Une **fonction** est une transformation de ses entrées pour produire des sorties en utilisant des ressources et en respectant des règles de contrôle.

Elle décrit ce que fait le (sous-)système, sa “fonction”, indépendamment de la façon dont elle le fait.



3. Conception de l'architecture

Décomposition fonctionnelle

Relations entre fonctions

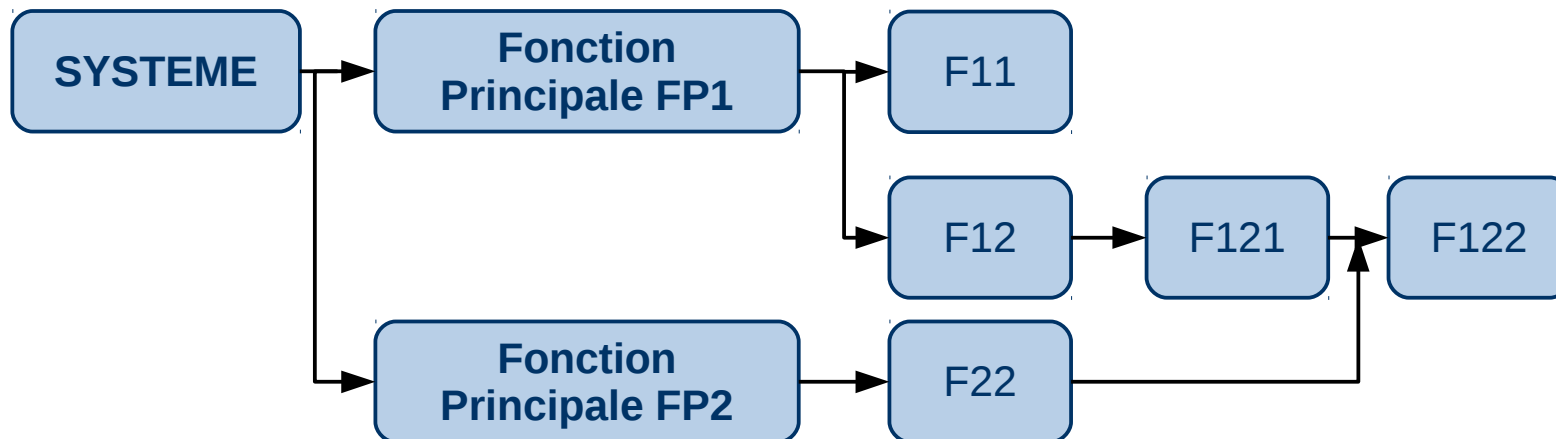
Les relations entre fonctions peuvent être logiques ou temporelle

- **Relations logiques :**

- **Incusion** : effectuer F1 et F2
- **Exclusion** : Effectuer F1 ou F2

- **Relations temporelles :**

- **Séquence** : effectuer F1 suivi de F2
- **Parallélisme** : Effectuer F1 et F2 en même temps
- **Itération** : Effectuer n fois F



3. Conception de l'architecture

Décomposition fonctionnelle

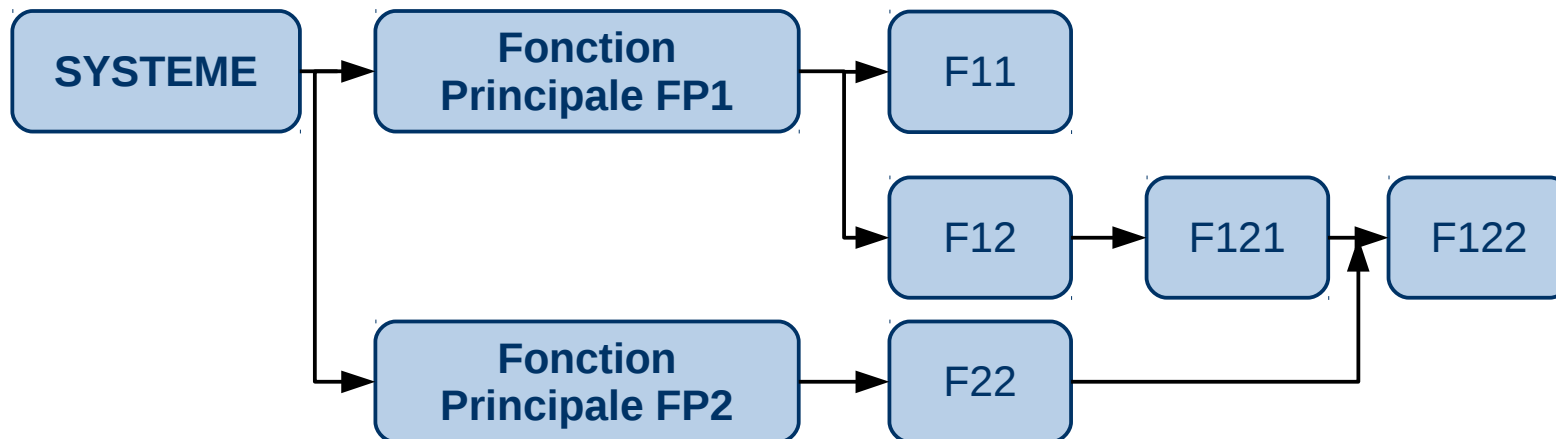
Gestion de la complexité

Pour gagner en lisibilité, il est généralement recommandé de ne pas dépasser

- 4 Etages de profondeur
- 7 Elements de large

Condition d'arrêt

On s'arrête lorsqu'une fonction est associée à un seul et unique composant.

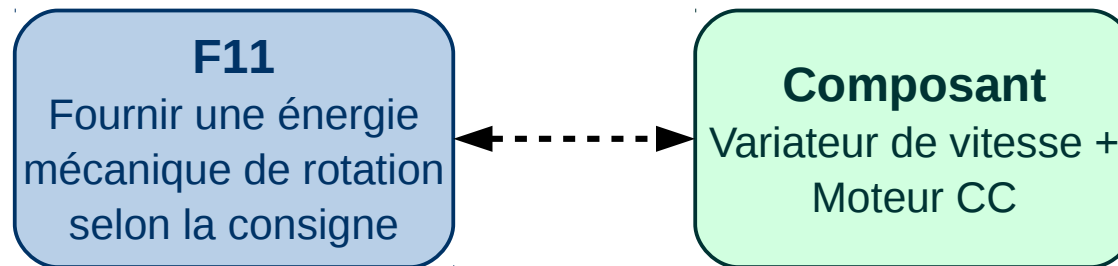


3. Conception de l'architecture

Conception fonctionnelle

Allocation fonctions / composants

Une fois la décomposition réalisée, on met en correspondance une **solution technique** et la fonction étudiée.



Il y a souvent plusieurs solutions techniques / composants possible pour une fonction, et plusieurs architectures possible en réponse à une exigence. Le choix de la solution retenue doit prendre en compte son **coût**, son **délai**, sa **fiabilité** (maturité technologique)...

A chaque niveau, une stratégie "Make or Buy" est généralement suivie.



EXEMPLE DE DIAGRAMME FAST

Cas d'étude : Challenge robotique
européen ERL Emergency

3. Conception de l'architecture

Phase de synthèse

Conception physique



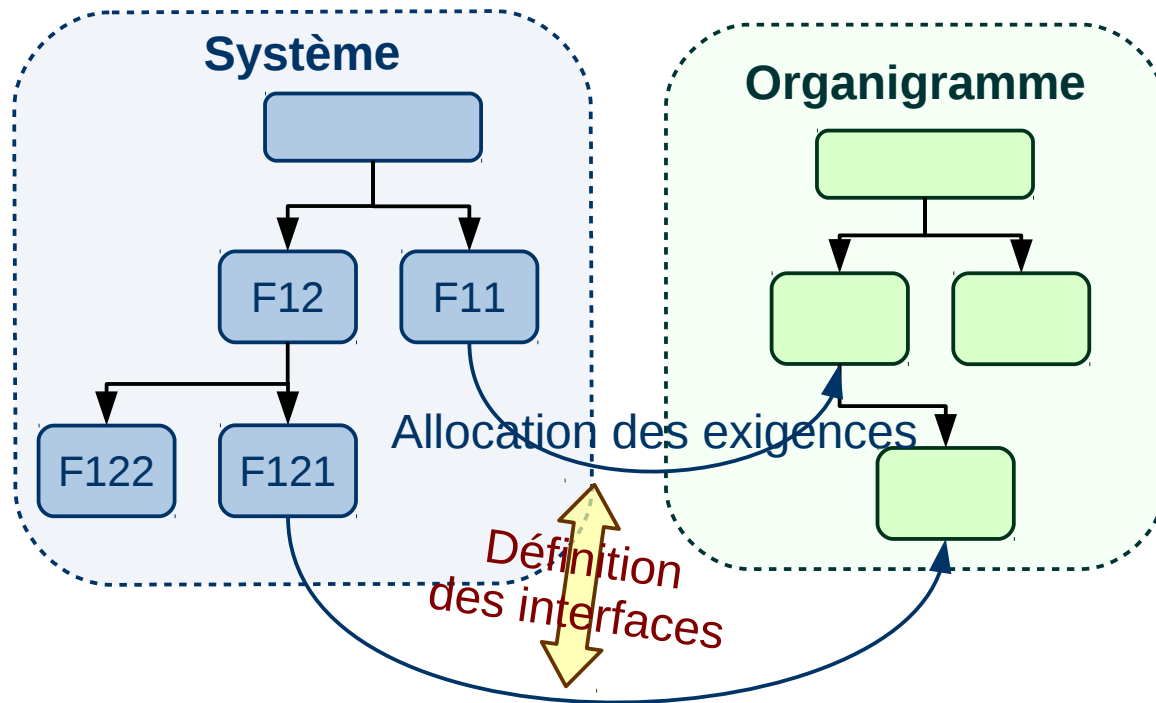
Suite à la décomposition, chaque composant à développer ou existant est associé une **contrainte de performance**.



C'est également la phase de **spécification des interfaces** entre ces constituants.

Les fonctions sont ensuite regroupées pour être allouée, selon :

- Leur cohérence et homogénéité
- La minimisation des interfaces entre constituants
- Les constituants communs



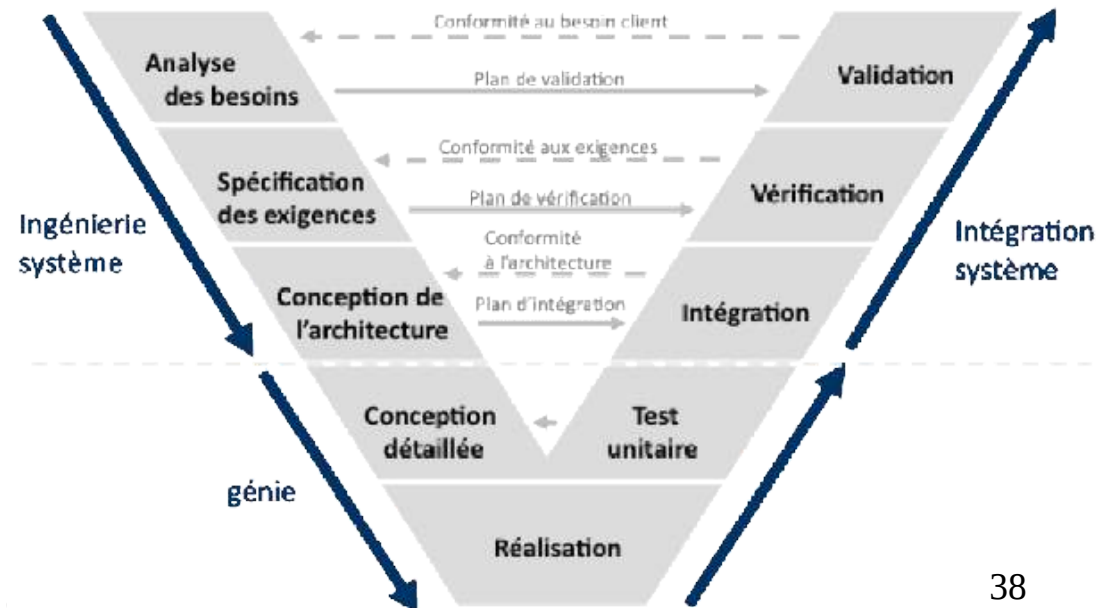
3. Conception de l'architecture

Phase de synthèse

A l'issue de la phase de synthèse

Les éléments suivants sont établis :

- L '**architecture physique** du système
- Le **Product Breakdown Structure** (PBS) : la décomposition hiérarchique des sous-système à réaliser
- Le **Working Breakdown Structure** : la structure des tâches à réaliser, associée au PBS
- La définition des cycles de vie des sous-systèmes
- La définition des tests de validation
- Les techniques et tests d'intégration





SPECIFICATION TECHNIQUE DU BESOIN

Contenu détaillé d'un document

2. Passage du besoin à l'exigence

Contenu détaillé de la STB

Chapitre 1 : Cadre général

But et domaine d'application de la spécification.

Chapitre 3 : Exigences

- 1) Présentation générale du produit
- 2) Exigences fonctionnelles
- 3) Environnement
- 4) Exigences opérationnelles
- 5) Exigences d'interfaces
- 6) Exigences d'études et solutions imposées
- 7) Exigences d'assurance de résultat

Chapitre 2 : Documentation de référence

- *Bibliographie nécessaire à la STB* (Ensemble des documents devant être appliqués) : calculs, résultats de simulation, articles, compte-rendus de réunion, CdCF...
- *Glossaire* : terminologie et sigles utilisés

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- **Produit et son concept**.....

Description simple du produit à développer. Quand le CdCF existe, cette partie reprend de façon succincte les informations de celui-ci. On part ainsi de la formulation du besoin jusqu'au produit à réaliser.

- **Produit et son concept**

Synthétise le besoin fonctionnel du produit et décrit le concept retenu.

Exemple

“Le dispositif devra être capable de mesurer des doses moyennes sur un champ d'exposition prédéfini et d'exprimer la mesure en valeur numérique qui pourra être lue et mémorisée périodiquement. En outre, le dispositif donnera la position du faisceau d'irradiation avec une fréquence de répétabilité élevée permettant de suivre le déplacement du faisceau sur le champ d'exposition. Pour cela, nous associerons un ensemble de détecteurs et capteurs à une acquisition rapide.”

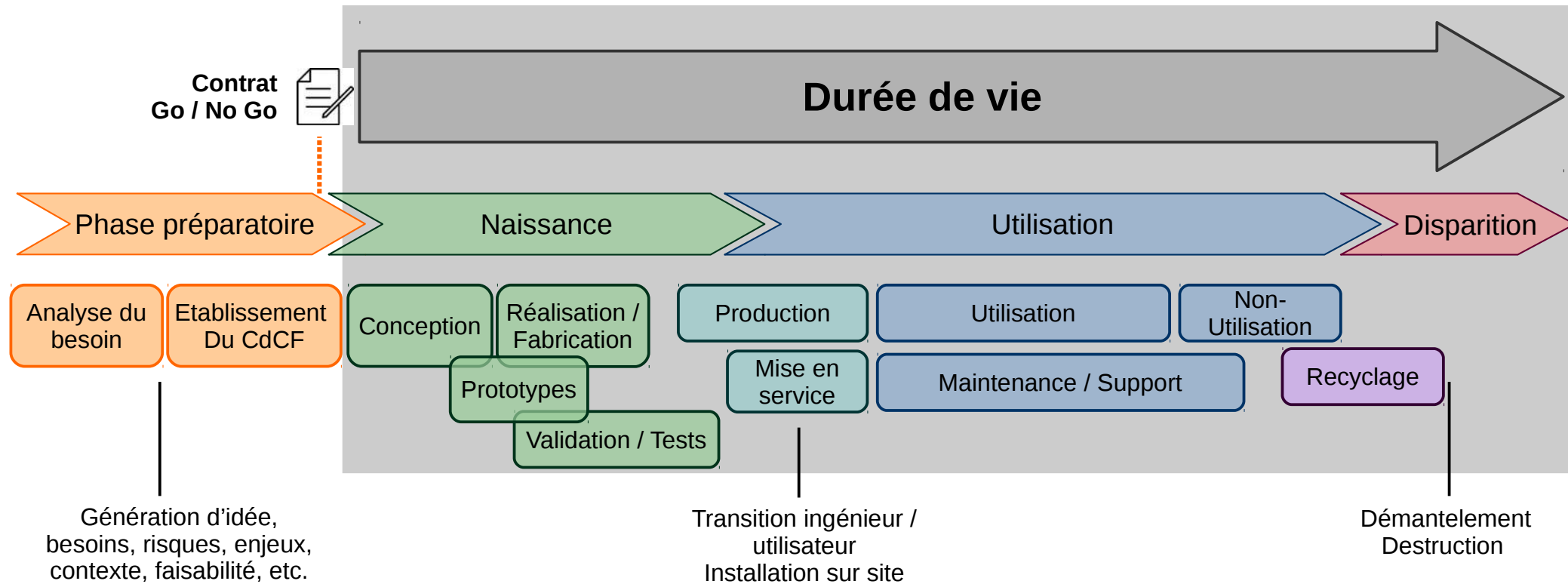
2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept*.....
- *Profil / Phase / Cycle de vie*.....

Description des phases successives de la naissance du système jusqu'à son retrait de service (arrêt).



2. Passage du besoin à l'exigence

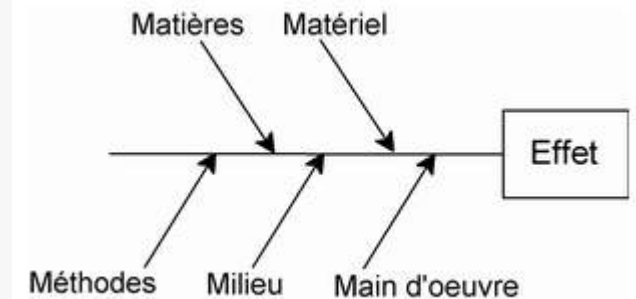
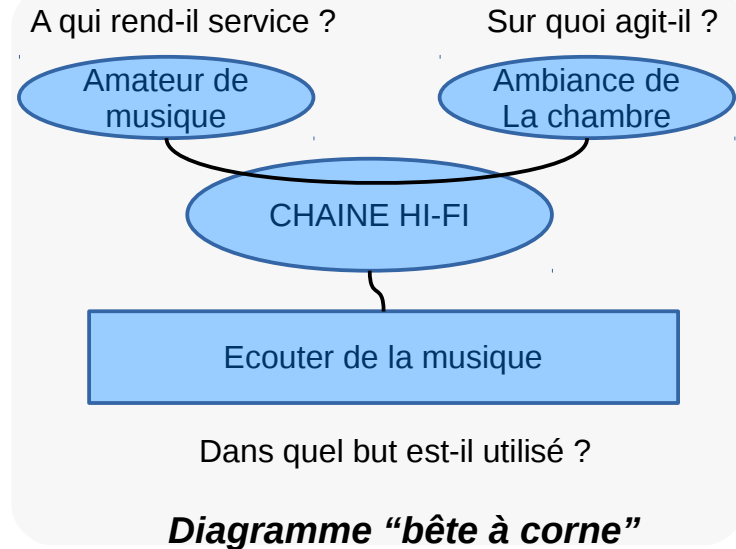
Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept*.....
- *Profil / Phase / Cycle de vie*.....
- **Exigences principales**.....

Réponse aux questions suivantes :

- Dans quel **but** le produit est-il créé ?
→ analyse succincte, diagramme “bête à corne”.
- Quels sont les **enjeux** (scientifiques, technologiques, ou en terme de valorisation...) ?
→ Mis en évidence avec les **parties prenantes**.
- **Sur quoi** le produit agit-il (paramètres, environnement, utilisateurs...)
→ La description littérale aboutira au diagramme “pieuvre”
- Qu'est-ce qui pourrait le faire évoluer, le modifier ?
→ Diagramme cause - effet (dit d'Ishikawa)



2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept*.....
- *Profil / Phase / Cycle de vie*.....
- *Exigences principales*.....
- **Fonctions**.....

- Les **Fonctions Principales (FP)**, également appelée Fonctions Essentielles, justifiant la création du système.

Fonctions
Principales

Fonctions
Essentielles

Fonctions
Principales
Fonctions
Secondaires

- Les **Fonctions Contraintes (FC)**, parfois appelée Fonctions Secondaires, limite la liberté de choix du concepteur.

Fonctions
Contraintes

Fonctions
Secondaires

Fonctions
Contraintes

OU

OU

Ces fonctions de services sont **indépendantes** de la solution de produit choisie.



*Il arrive parfois de voir mentionné le terme de **Fonction Secondaire** pour des “fonctions principales” de moindre importance (service supplémentaire), sans pour autant être une contrainte de conception. Dans ce cas, on trouvera **en plus** la mention de **Fonctions Contraintes**.*

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept*.....
- *Profil / Phase / Cycle de vie*.....
- *Exigences principales*.....
- **Fonctions**.....

Exemple

Fonctions principale	description	Critère	Précision
FP1	Porter assistance aux travailleurs manquants	Délais d'intervention	< 100 min (si possible < 30 min)
FP2	Sécuriser le secteur	Vitesse et complétude des informations	< 100 min

Fonctions contrainte	description		Critère	Précision
FC1	Être adapté au déplacement en intérieur		Largeur Temps de réaction (commande) Indépendance des chenilles	< 70 cm < 200ms
FC2	Ne pas endommager l'environnement		masse	< 350 Kg
			Relâchement de produit nocifs	aucun
			Pas de dégât visible sur la structure du bâtiment	
			Végétation intact	
FC3	Être déplaçable en mode éteint		Nombre de personnes	< 4
FC4	Permettre un arrêt d'urgence		Différents modes d'arrêt	2
			Visibilité du bouton d'arrêt	360°

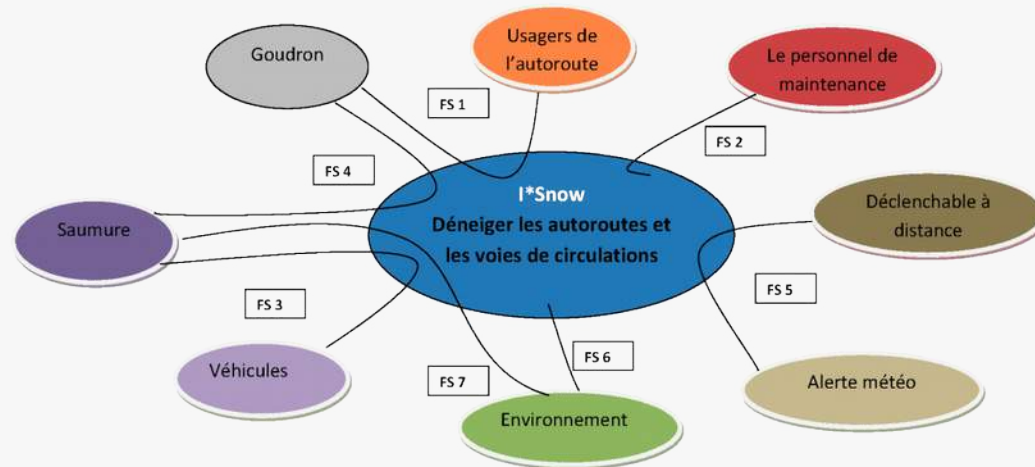
2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept*.....
- *Profil / Phase / Cycle de vie*.....
- *Exigences principales*.....
- **Fonctions**.....

Les fonctions de services peuvent être rattachées à la description des éléments en interactions avec le système via le diagramme “pieuvre”.



Nom de la fonction	Désignation de la fonction de service
FS1	Déniger et/ou prévenir l'enneigement des autoroutes pour les usagers
FS2	Etre réglable et accessible par le personnel de maintenance
FS3	Répandre la saumure sur les voies de circulations
FS4	Diffuser la saumure
FS5	Détecter une alerte météorologique neige et activer le dispositif de manière automatique et à distance
FS6	S'intégrer à l'environnement
FS7	Evacuer puis traiter les eaux chargées

Diagramme “pieuvre”

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 1 : Cadre général

1) Présentation générale du produit

- *Produit et son concept.....*
- *Profil / Phase / Cycle de vie.....*
- *Exigences principales.....*
- *Fonctions.....*
- **Description et chaîne fonctionnelle.....**

Il s'agit de répondre ici à la question suivante :

Comment fonctionne le produit ?

Cette section contient la **description littérale du fonctionnement** du système, ainsi qu'un schéma mettant en évidence la **décomposition arborescente** du système en ses principaux constituants.

2. Passage du besoin à l'exigence

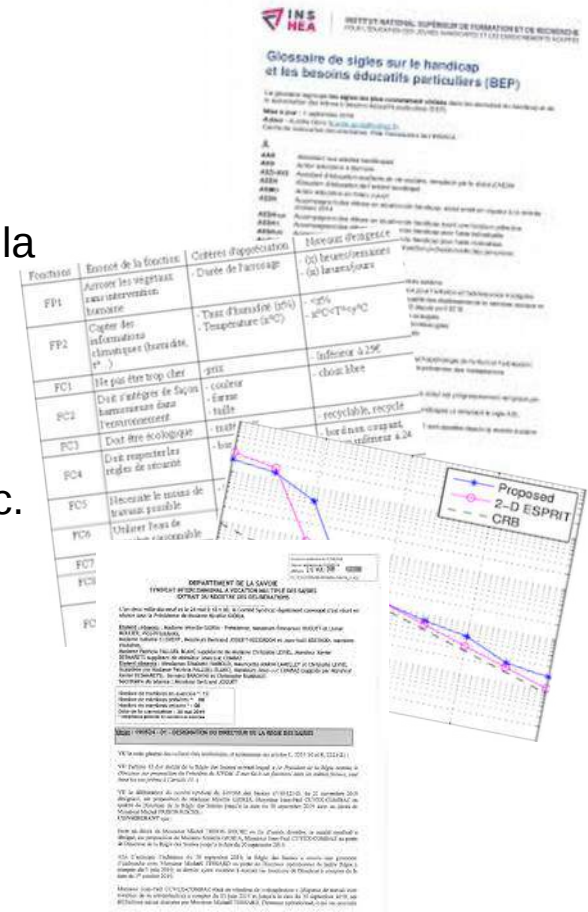
Chapitre 2 : Documentation de référence

2) Documentation de référence

- *Glossaire*.....
- *CdCF*.....
- *Articles*.....
- *Calculs*.....
- *Résultats de simulation*.....
- *Comptes-rendus de réunion*.....

Ce chapitre doit contenir l'ensemble de la bibliographie nécessaire à la STB. Il contiendra notamment :

- Le glossaire : terminologie et sigles utilisés
- Le Cahier des Charges Fonctionnelles
- Les articles à l'origine du besoin, des spécifications techniques, etc.
- Les calculs : dimensionnements, etc.
- Les résultats de simulation
- Les compte-rendus de réunion
- ...



2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques*.....

Approfondissement des besoins initialement exprimés en termes d'**exigences** et de **contraintes techniques**, se traduisant par des **spécifications techniques**, qui sont données avec leurs **marges** pour :

- Les missions prévues
- Les différentes configurations et mode de fonctionnement
- Les différentes conditions d'emploi prévues

Elles peuvent être présentées sous la forme de listes de paramètres, de tableau de spécifications...

Respecter la réglementation en vigueur	Visibilité des lumières warning	360°
	Hauteur de l'antenne de communication	< 2,5 m
Résister aux intempéries	Indice de protection	> IP43
Être énergétiquement autonome pendant l'opération	Durée d'autonomie en « conditions normales »	> 120 min
Faciliter les intervention	Temps d'accès aux composants internes	< 1 min

Intervalle de tolérance
OU
Valeur min ou max

↖ Vérifiable par mesure, essai ou analyse de données

Ces spécifications sont en général - mais pas systématiquement - liées à la solution retenue.

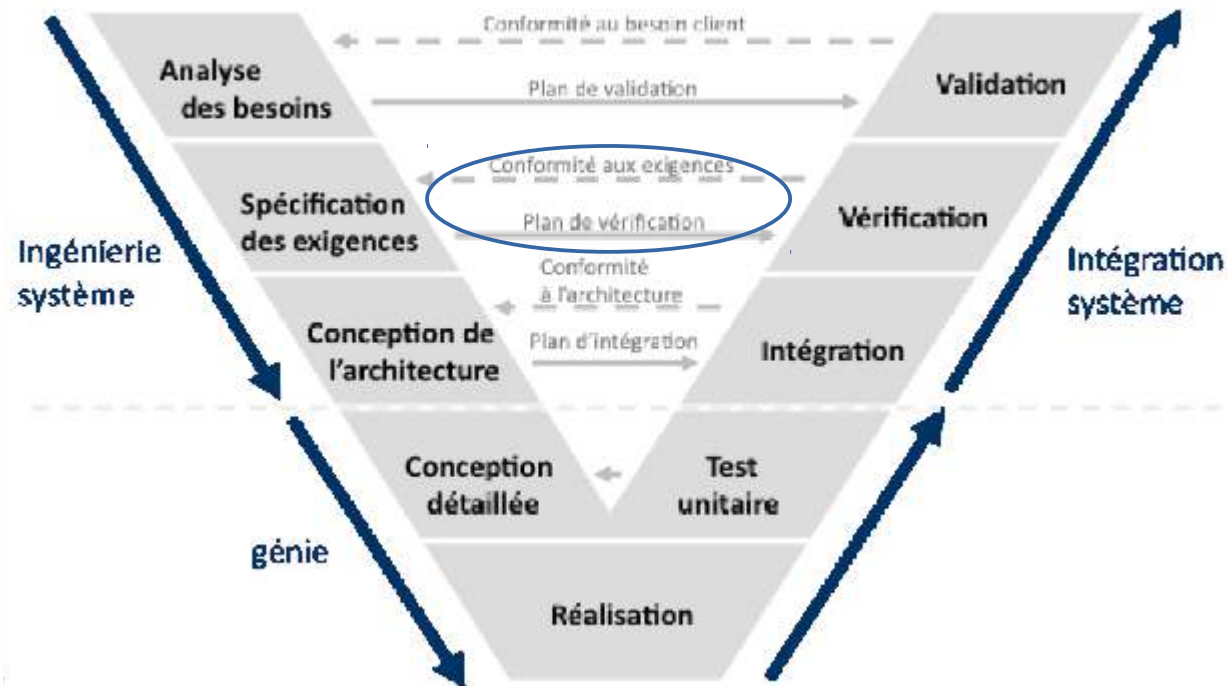
2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*

Ces spécifications techniques vérifiables seront les bases du **plan de vérification** qui sera utilisé lors de la phase d'intégration, en amont de la validation des besoins.



2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*
- **Exigences opérationnelles.....**

Ces exigences concernent les aspects opérationnels

- **Sureté de fonctionnement**



- **Fiabilité** : Accomplir une fonction précise pendant un intervalle de temps donné
- **Disponibilité** : Etre en état d'accomplir une fonction à un instant donné.
- **Maintenabilité** : Aptitude à être maintenu ou rétabli, pendant un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction précise.
- **Sécurité** : Ne pas être nuisible à son environnement (personnes, biens, écologie..) en état de fonctionnement comme en état de défaillances.



- **Durée de vie** du produit, à l'état intégré et en fonctionnement.



- **Modes de fonctionnement** et leur éventuel enchaînement, avec leurs caractéristiques propres.



- **Logistique**

- Contraintes de maintenance : périodicité, durée, outillage, etc.
- Exigences sur emballage, transport, manutention, stockage, etc.

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*
- *Exigences opérationnelles.....*
- **Exigences d'environnement.....**

Elles concernent la **tenue aux ambiances** et aux diverses **agressions** que le produit est susceptible de rencontrer.

- **Environnement naturel** : Description de l'environnement naturel auquel est soumis le produit durant toute la période d'utilisation
- **En service normal** : Conditions extérieures (température, humidité, poussière, vibrations...) ou générées par le produit ne compromettant pas les objectifs de fiabilité (produit ou entourage).
- **En situation dégradée** : Caractérisation de la situation dégradée, soit par une agression externe (défaillance, accident type chute, incendie, etc.), soit interne, soit couplage des deux.

Ces exigences sont différentes suivant que l'on considère le produit pendant sa phase d'exploitation (i.e. en service), en amont de celle-ci (construction, transport, stockage...), et, le cas échéant en aval de celle-ci (démantèlement).

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*
- *Exigences opérationnelles.....*
- *Exigences d'environnement.....*
- **Exigences d'interface.....**

Elles restituent toutes les contraintes d'**interfaces du produit avec les éléments extérieurs**. Ces exigences doivent être cohérentes avec les documents d'interface émis par le niveau supérieur (dossier de contrôle des interfaces). Elles peuvent concerner les domaines suivants :

- Mécanique
- Electrique
- Fluide
- Thermique
- Optique
- Logiciels
- Assemblage / Montage
- Equipement de test

Remarque

Dans le cas où il existe un document d'interface qui émet des exigences du niveau supérieur, ce document doit être mentionné dans le paragraphe « documentation de référence ».

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*
- *Exigences opérationnelles.....*
- *Exigences d'environnement.....*
- *Exigences d'interface.....*
- ***Exigences d'études et solutions imposées.....***

Il s'agit des **exigences réglementaires**, des **normes** à appliquer et des **prescriptions** du Projet (solutions imposées ou interdites, moyens de développement à mettre en oeuvre, etc...). Elles traiteront notamment des :

- **Contraintes principales de conception** : Options retenues ou imposées par le niveau supérieur à l'issue d'un processus de décision
- **Spécifications - Normes et standards** : Règles générales ou spécifiques au programme devant être appliqué au produit (autre que ci-dessus)
- **Matériaux - Procédés – Composants**
- **Protection - Préservation du produit** : Options retenues pour assurer la résistance à l'humidité, la corrosion, les flux thermique, les phénomènes électrostatiques, aux agressions mécaniques, électriques, etc.

On doit également mentionner toute contrainte de conception (induite par des options retenues par le concepteur ou imposées par le niveau supérieur dans la définition du produit) ou de réalisation (liées à l'accessibilité, la démontabilité et la testabilité du produit).

2. Passage du besoin à l'exigence

Chapitre 3 : Détail des exigences

3) Exigences et contraintes

- *Exigences fonctionnelles et contraintes techniques.....*
- *Exigences opérationnelles.....*
- *Exigences d'environnement.....*
- *Exigences d'interface.....*
- *Exigences d'études et solutions imposées.....*
- ***Exigences d'assurance de résultat.....***

Elles spécifient les vérifications qui serviront à **démontrer** formellement au client que le produit **répond aux exigences** de la STB.

- **Justification de la Définition**

A la fin du processus d'expression du besoin (en parallèle de la mise en place de la STB), le fournisseur doit fournir un plan des dispositions à mettre en place pour justifier la réponse à chacune des exigences : justification théorique (calcul, modélisation, etc.) ou expérimentale (essai, jeu de test, etc.).

Ce *Plan de Justification de la Définition* (ou plus sommairement *Plan de Validation*) sert de base pour l'acquisition des justifications, consignées dans un *Dossier Justificatif de la Définition*.

- **Qualification de la Définition**

La pertinence, l'exhaustivité et les résultats des justifications aboutit à une décision de *Qualification* de la part du client émetteur de la STB.

- **Conditions d'Acceptation du produit**

Une fois la définition qualifiée, il est nécessaire de préciser les conditions d'acceptation des différents exemplaires des produits.



POUR ALLER PLUS LOIN

Tests, vérifications et validations

Pour voir plus loin : Intégration Système

Tests, vérifications et validations

Pourquoi faire des tests ?

- **Mariner 1 (1962) :**
Confusion sur un trait d'union / suscrit dans le code de guidage
294,5 secondes, 18,5 millions de \$ (150 millions de \$ actuels)
- **Ariane 5 (1996)**
Dépassement d'entier dans le pilote automatique (accél. horizontale)
36,7 secondes, > 370 millions de \$ (614 millions de \$ actuels)
- **Mars Climate Orbiter (1999) :**
Poussée de sonde en livre-force.seconde, correcteur de trajectoire en newton.seconde
193,1 millions de \$ (320 millions de \$ actuels)
- **Therac-25 (1985-1987)**
Réutilisation de code non adapté, tests oubliés, messages d'erreur non documentés, entrée utilisateur non prévue
5 décès par irradiations



Philosophie sur les tests

Définition

Le test est l'**exécution** ou l'**évaluation** d'un système ou d'un composant, par des moyens automatiques ou manuels, pour vérifier qu'il **répond à ses spécifications** ou **identifier les différences** entre les résultats attendus et les résultats obtenus

Norme IEEE - Standard Glossary of Software Engineering Terminology

➡ Le test est une comparaison entre le système et sa **spécification**

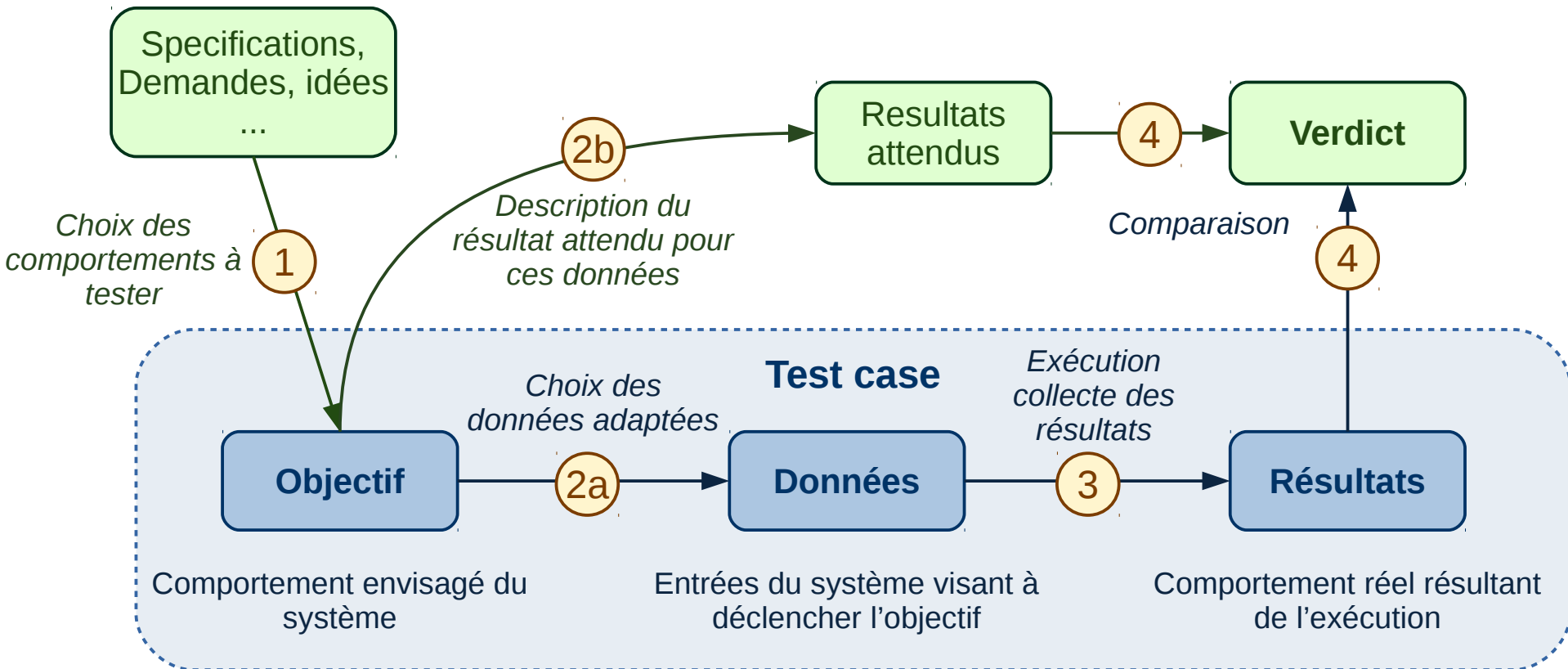
« Tester peut révéler la présence d'erreurs mais **jamais leur absence.** »

➡ Le test ne **garantit** pas la conformité du système,

« Tester, c'est exécuter le programme **dans l'intention** d'y trouver des anomalies ou des défauts. »

➡ Le test est démarche **volontaire qui se prépare.**

Méthodologie



Pour voir plus loin : Intégration Système

Tests, vérifications et validations

Les différents niveaux de tests

Définition

Un **test unitaire** est une procédure permettant de vérifier le bon fonctionnement d'un composant spécifique du système, en général ayant un objectif unique.

Il répond à un élément atomique de la décomposition fonctionnelle.

Définition

La **vérification** assure que le système respecte les exigences analysées dans les conditions énoncées.

= *"Bien faire le système"*

Il répond aux spécifications des exigences.

Définition

La **validation** permet de valider que le système satisfait les besoins exprimés par le client.

= *"Faire le bon système"*

Il répond à l'expression du besoin.



Les différents niveaux de tests

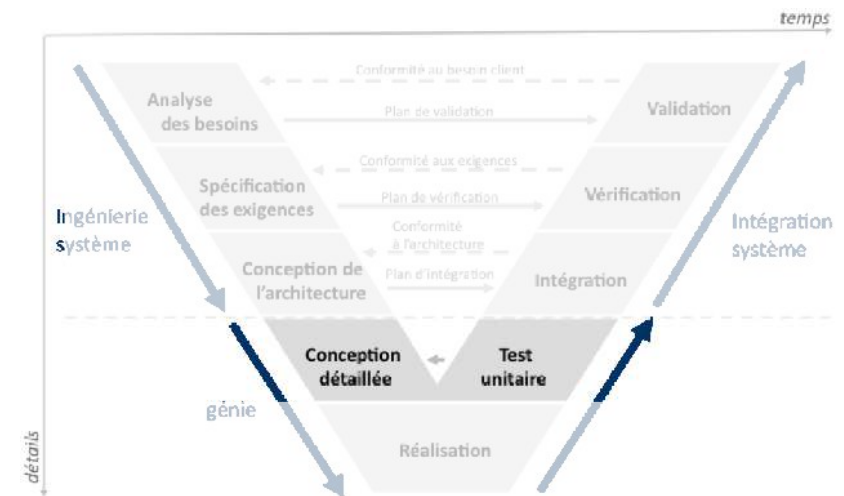
Tests unitaires

On s'assure que chaque composant (capteur, actionneur, classe programmée...) choisi lors de la conception détaillée remplit sa **fonction**, **indépendamment** du reste du système.

Le test est réalisé en **isolant** chaque partie du système, et en simulant les parties dépendantes.

Il permet :

- De cibler rapidement les erreurs
- De participer à la documentation (utilisation)
- D'aider à l'intégration



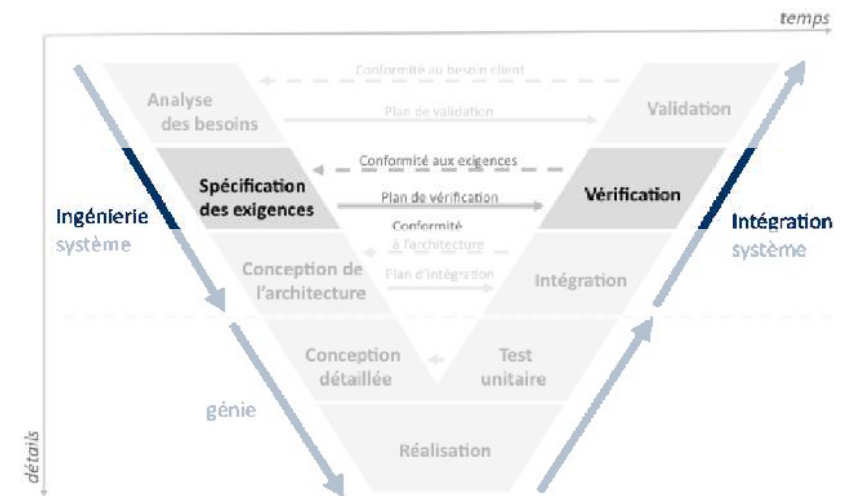
Les différents niveaux de tests

Tests de vérification

Le test de vérification contrôle la réponse à une **exigence spécifique**, correspondant généralement à un sous-système du produit.

Les erreurs non détectées en tests unitaires proviennent principalement des **interactions** entre les composants.

Le test de vérification est la raison pour laquelle chaque exigence est qualifiée par un **paramètre mesurable** et un détail numérique.



Respecter la réglementation en vigueur	Visibilité des lumières warning	360°
	Hauteur de l'antenne de communication	< 2,5 m
Résister aux intempéries	Indice de protection	> IP43
Être énergétiquement autonome pendant l'opération	Durée d'autonomie en « conditions normales »	> 120 min

Pour voir plus loin : Intégration Système

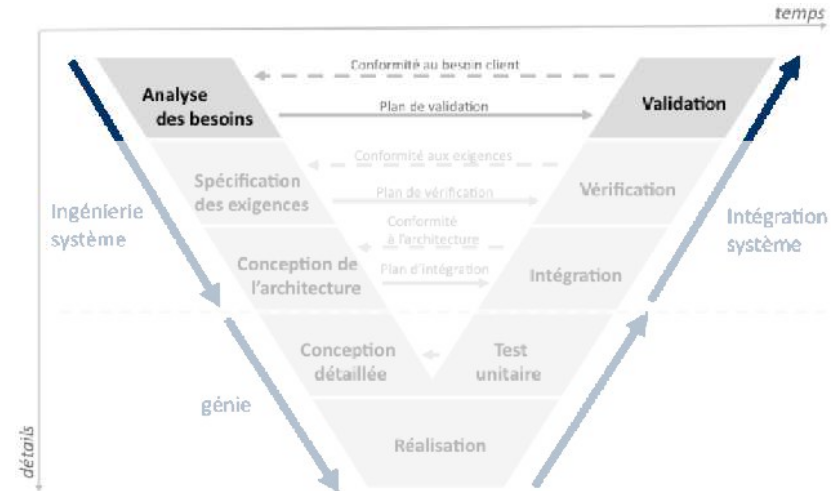
Tests, vérifications et validations

Les différents niveaux de tests

Tests de validation / test système

Le test de validation contrôle la conformité du produit fini vis-à-vis des **besoins formulés** du point de vue **utilisateur**.

Les tests s'effectuent sur des *use cases* en **boite noire**, potentiellement construits à partir de scénarios d'utilisation.



En plus de ces tests de conformité, on trouvera :

- Des tests de robustesse, dans des cas d'utilisation imprévus
- Des tests de sécurité, concernant la vulnérabilité à des actions extérieures
- Des tests de performance, sur différents scénarios d'utilisation

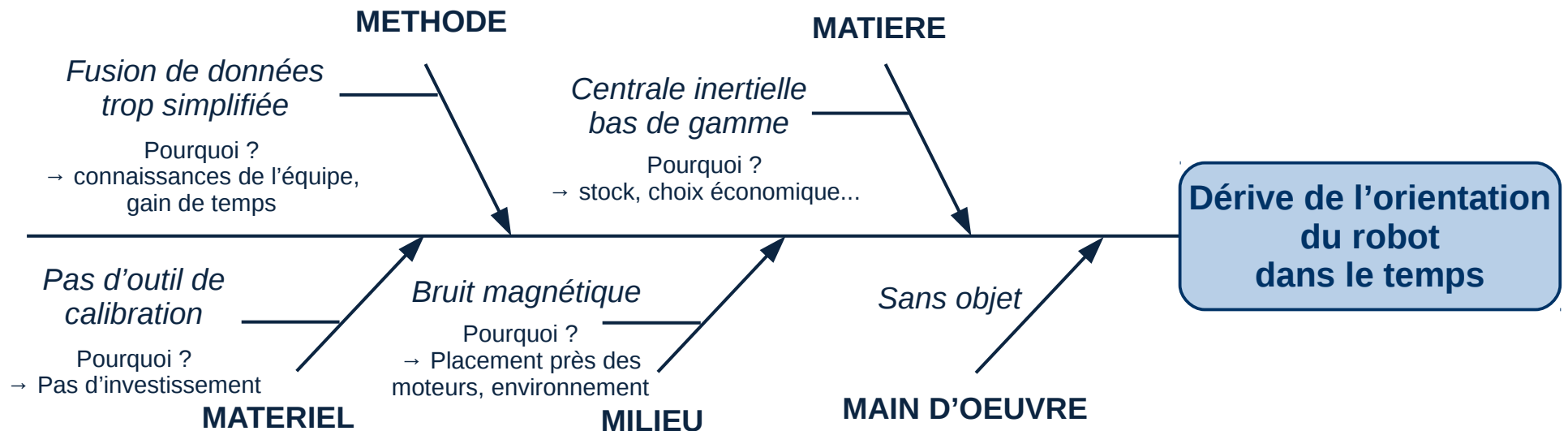
Pour voir plus loin : Intégration Système

Tests, vérifications et validations

Identifier les problèmes rencontrés / analyse des résultats

Résolution de dysfonctionnement à travers l'identification visuelle. Dresser les causes à partir des **5M** :

- **Méthode** : Techniques, procédures, mode opératoire
- **Matière** : Matière première, composants, qualité...
- **Milieu** : Marché, concurrence, environnement de travail
- **Matériel** : Moyens de production, équipement
- **Main-d'œuvre** : Collaborateurs, leur compétences...



CONCLUSION

Des bonnes pratiques

- Permettant de mener à bien la réalisation d'un système de l'émission du besoin jusqu'à sa mise en retrait.
- Permettant de gérer la complexité des systèmes par une approche par décomposition récursive avec la gestion des interfaces.

Des outils pour

- Organiser
- Planifier
- Développer
- Gérer les risques
- Etc.

L'ingénierie Système fournit une recette générique pour la conception des systèmes qu'il faut adapter à un contexte.

Références bibliographiques

L'introduction à l'Ingénierie Système est fortement inspirée des documents suivants



Introduction à l'Ingénierie Système, A. Chapoutot, ENSTA

Lui-même tiré de



Ingénierie Système, D.Luzeaux et J.-R. Ruault, AFNOR



System Engineering Handbook, INCOSE



La démarche d'Ingénierie Système, Y. POLLET, CNAM



Présentation Semaine Projet

Robot Sumo