

Maîtrise du processus de modélisation géométrique et physique en conception mécanique

Frédéric CHARPENTIER
Alex BALLU
Jérôme PAILHES

1 - Introduction

1.1 - Contexte

Les concepteurs souhaitent développer de plus en plus rapidement, avec de plus en plus d'acteurs divers, en diminuant les coûts et en augmentant la qualité des produits.

- De nombreuses activités de conception et de simulation sont nécessaires

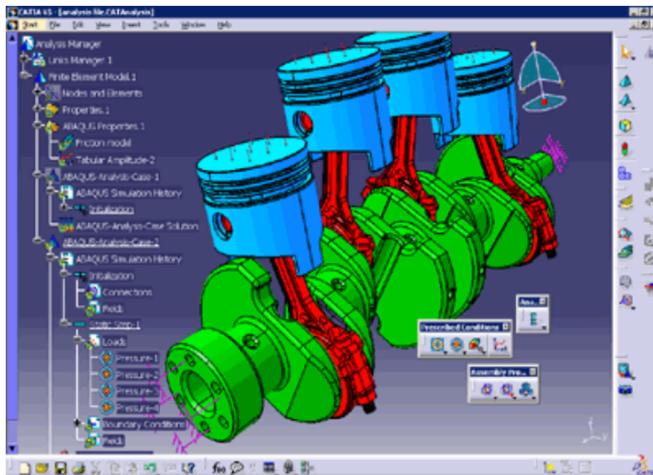


Image 3DS

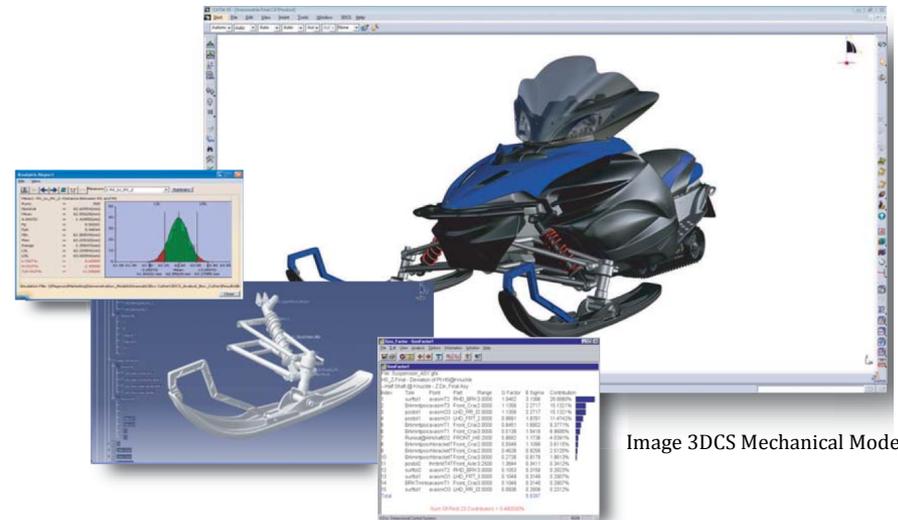
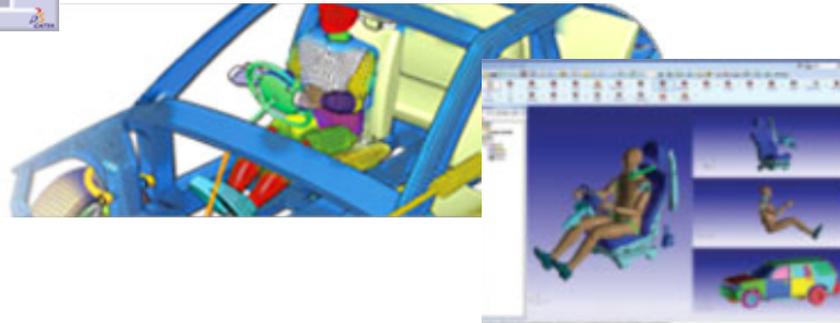


Image 3DCS Mechanical Modeler

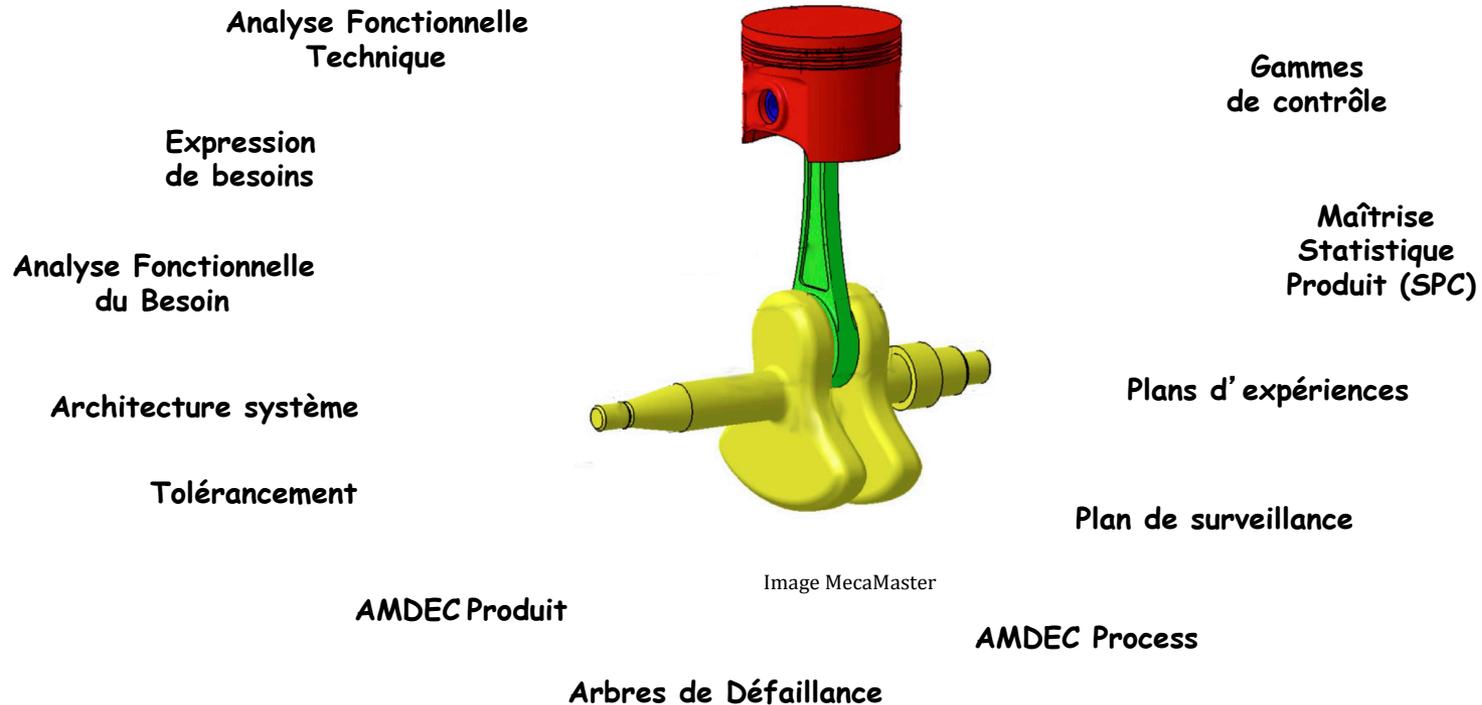


Gestion des activités

1 - Introduction

1.1 - Contexte

- De nombreux éléments et outils sont manipulés tout au long de la conception.



Gestion des données produits

1 - Introduction

1.1 - Contexte

- De nombreuses hypothèses (formulées ou non)

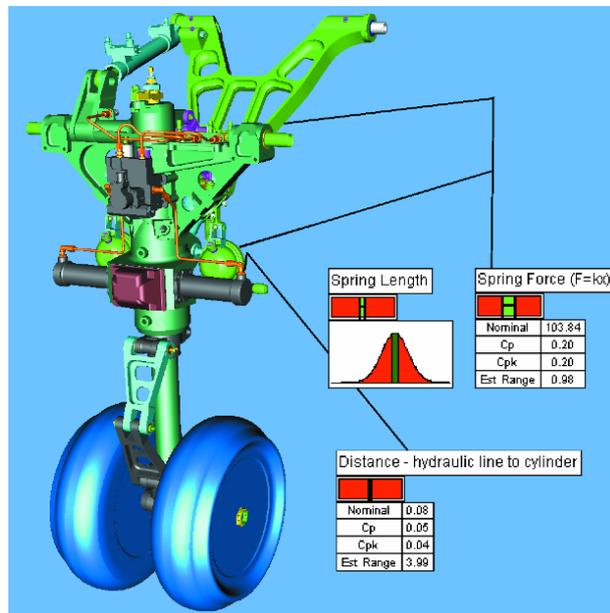


Image Teamcenter Visualisation VSA

- Modèle physique 1D, 2D ou 3D
- Modèle géométrique 1D, 2D ou 3D
- Homogénéisation des matériaux
- Pression de contact uniforme
- Transfert thermique sans résistance de contact
-



Gestion des hypothèses

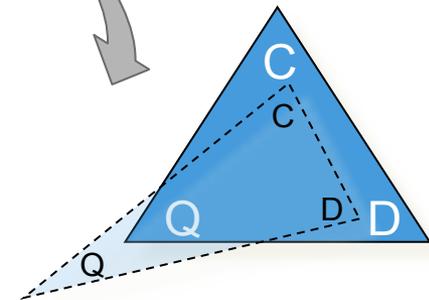
1 - Introduction

1.1 - Contexte

- De nombreuses hypothèses peuvent conduire à prendre des risques industriels importants (écarts entre le modèle et le réel).

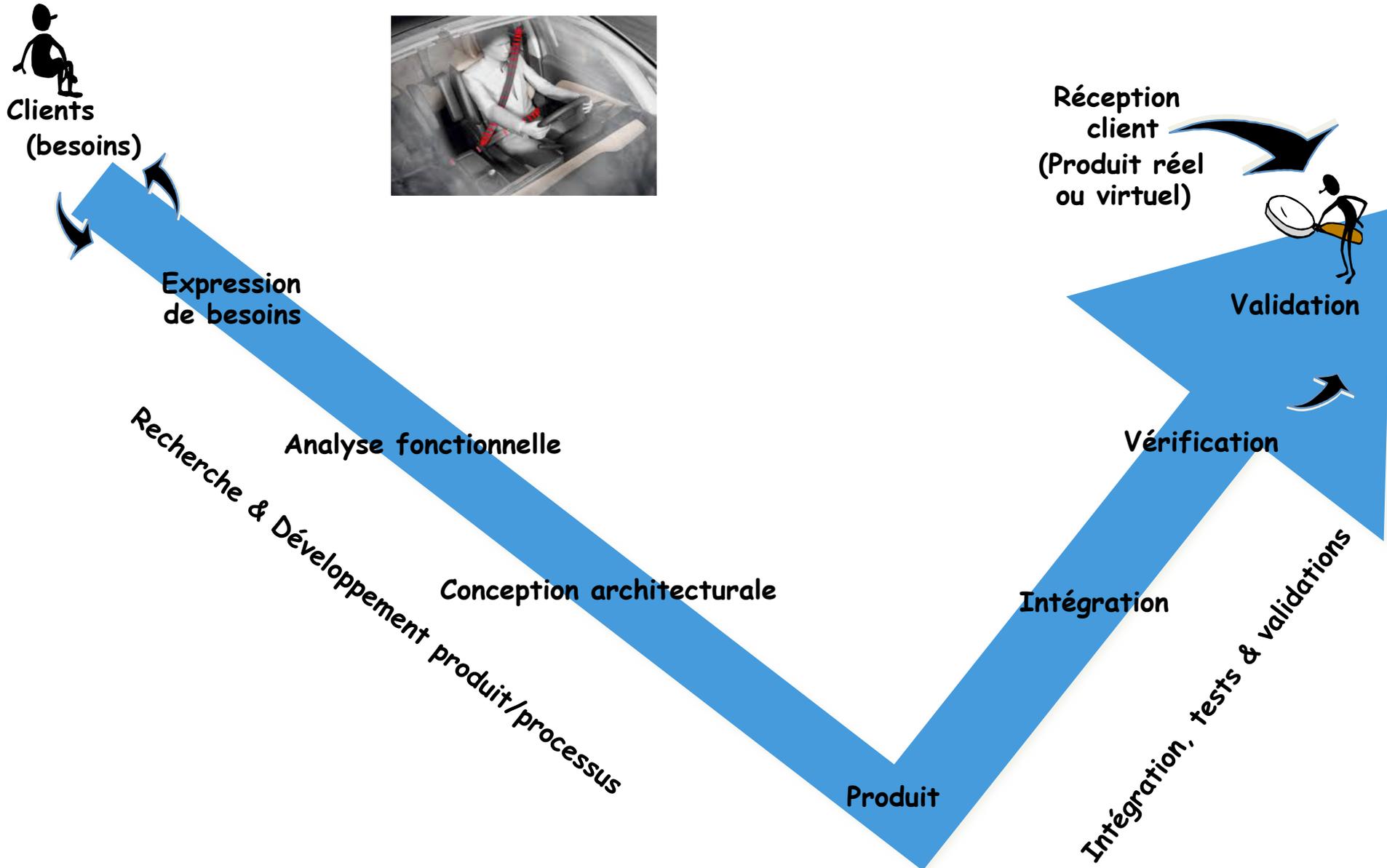


- Ecart entre le modèle (hypothèses) et le réel



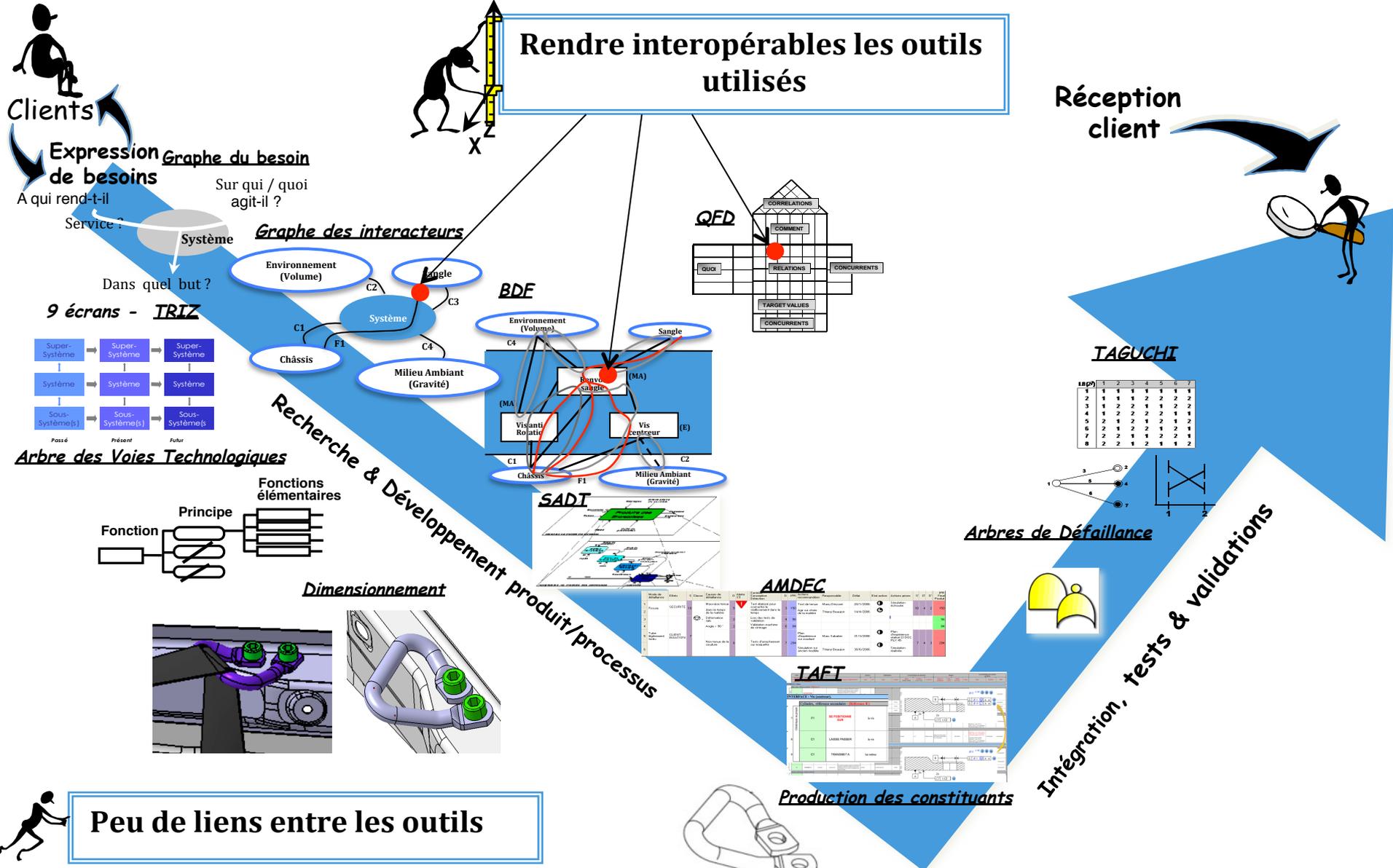
1 - Introduction

1.2 - Enjeux



1 - Introduction

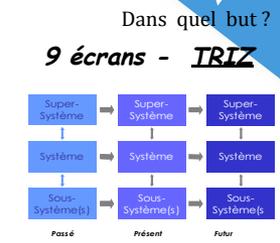
1.2 - Enjeux



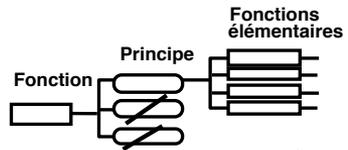
Rendre interoperables les outils utilisés

Réception client

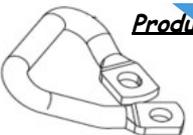
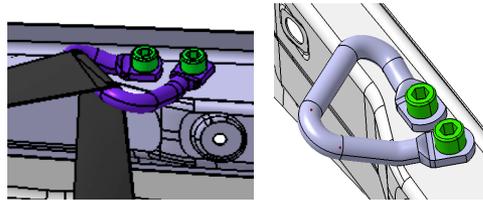
Expression des besoins
A qui rend-t-il ?
Service ?
Sur qui / quoi agit-il ?



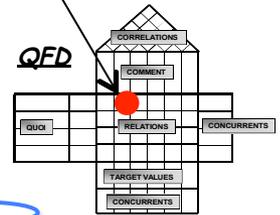
Arbre des Voies Technologiques



Dimensionnement



Production des constituants



TAGUCHI

L2(θ)	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	1	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Arbres de Défaillance



AMDEC

Statut	Code	Libellé	Impact	Probabilité	Etat	Plan action	Statut action	OT	OT	OT
OK	000001	Machinisme	1	1	1					
OK	000002	Support	1	1	1					
OK	000003	Support	1	1	1					
OK	000004	Support	1	1	1					
OK	000005	Support	1	1	1					
OK	000006	Support	1	1	1					
OK	000007	Support	1	1	1					
OK	000008	Support	1	1	1					
OK	000009	Support	1	1	1					
OK	000010	Support	1	1	1					

TAFT

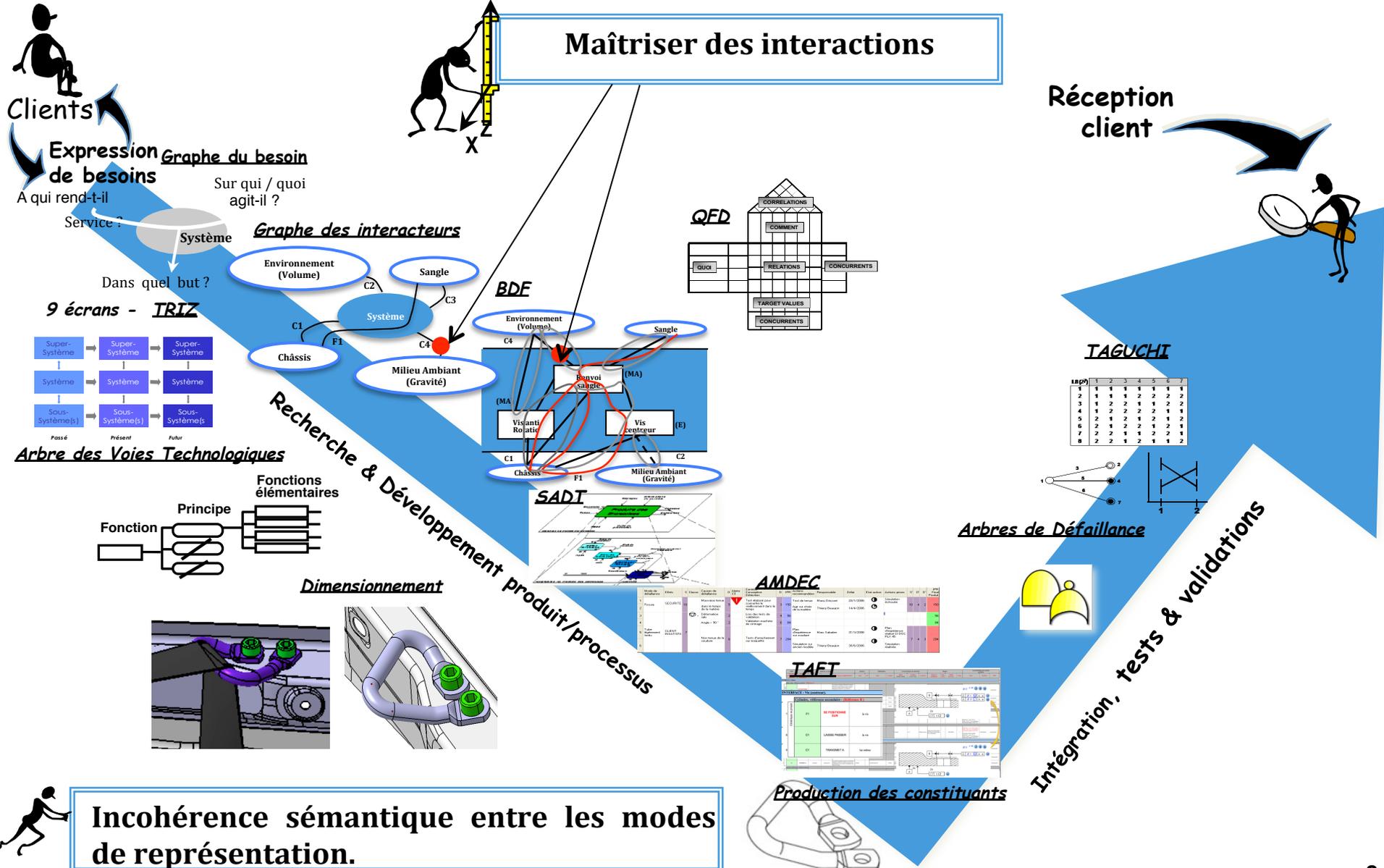


Peu de liens entre les outils

Intégration, tests & validations

1 - Introduction

1.2 - Enjeux

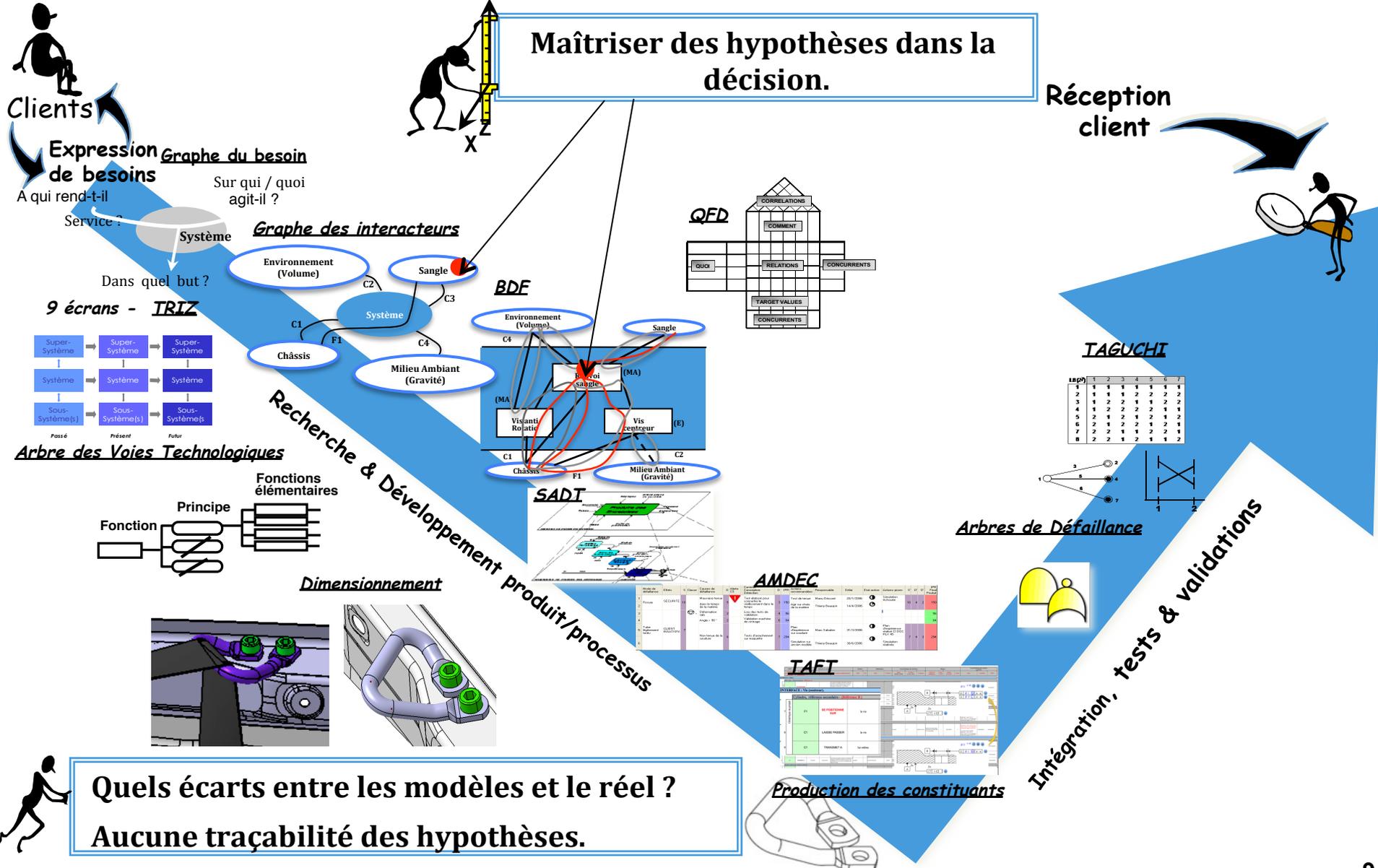


1 - Introduction

1.2 - Enjeux

Maîtriser des hypothèses dans la décision.

Réception client



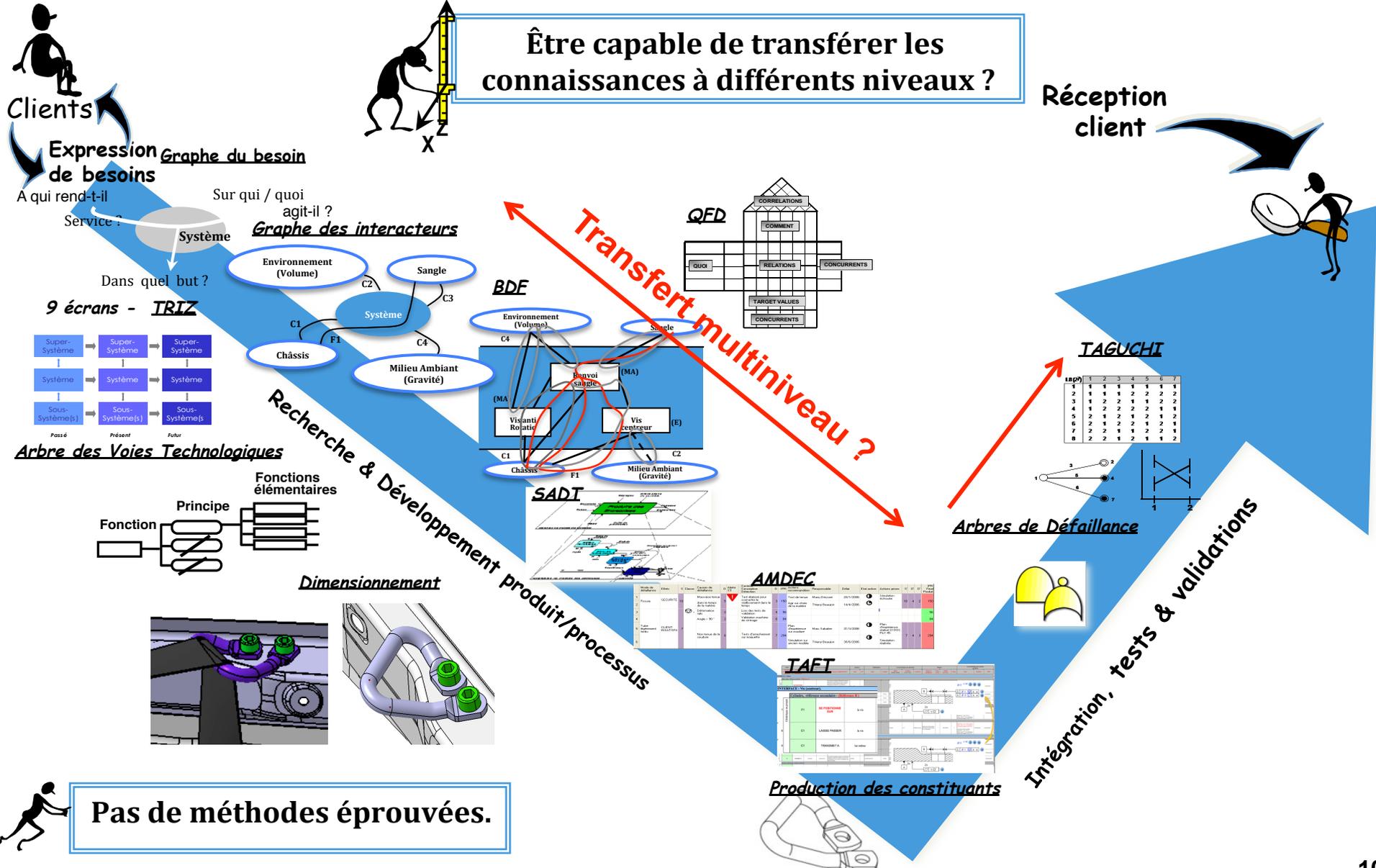
**Quels écarts entre les modèles et le réel ?
Aucune traçabilité des hypothèses.**

1 - Introduction

1.2 - Enjeux

Être capable de transférer les connaissances à différents niveaux ?

Réception client



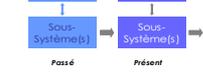
Expression des besoins

A qui rend-t-il Service ?

Sur qui / quoi agit-il ?

Dans quel but ?

9 écrans - TRIZ



Arbre des Voies Technologiques



Dimensionnement

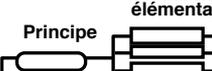


Pas de méthodes éprouvées.

Graphes du besoin

Graphes des interacteurs

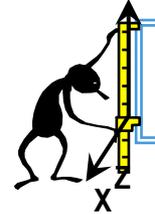
BDF



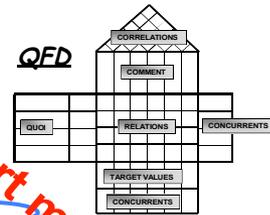
Production des constituants



Intégration, tests & validations



Transfert mult niveau ?



TAGUCHI

Ln(p)	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	1	1	2	2	1	2
8	2	2	1	2	1	1	2



1 - Introduction

1.3 - Objectifs

En conséquence, les objectifs sont :

- De définir sans ambiguïté les **modèles** et les **propriétés** utilisables par l'ensemble des outils (en vue de leur manipulation par le concepteur dans les différentes phases du processus de conception),
- De définir sans ambiguïté **les interactions, les fonctions, spécifications et les flux**,
- De tracer les différentes étapes du **processus de modélisation** et les **hypothèses** associées,
- De tracer la **décomposition fonctionnelle et structurelle**.



Contrainte :

Il ne faut surtout pas alourdir le travail de **modélisation** et de **simulation**.



1 - Introduction

1.4 - Plan

2 - Objets, interactions et flux physiques

3 - Fonctions et spécifications

4 - Processus de modélisation

5 - Processus de conception globale

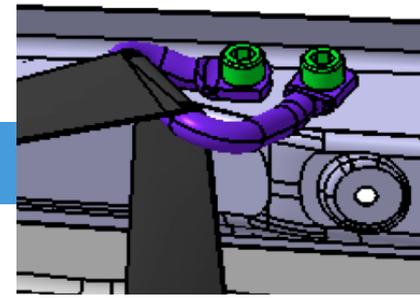
6 - Bilan et perspectives

6.1 - Bilan

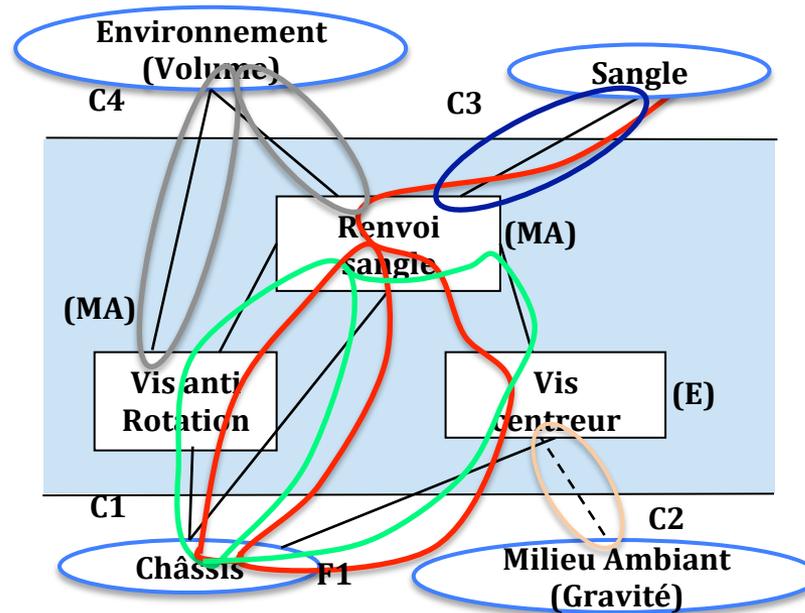
6.2 - Perspectives



2 - Objets, interactions et flux physiques



Bloc-diagramme fonctionnel



Besoin de définir les objets, les interactions et les flux physiques.

2 - Objets, interactions et flux physiques

2.1 - Modèles

Modèles géométriques

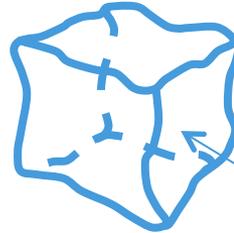
Modèle nominal



➤ Surface nominal.

Modèle fini

Skin model



➤ Surface avec des défauts de forme.

Objet

Propriété

Modèles volume - matière

Modèle nominal



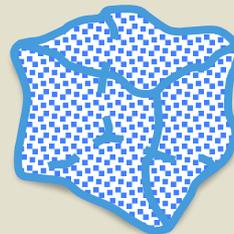
➤ Volume nominal.

➤ Matériau.

(réf. Matière)

Modèle fini

Modèle primitif



➤ Volume avec des défauts de forme.

➤ Matériau.

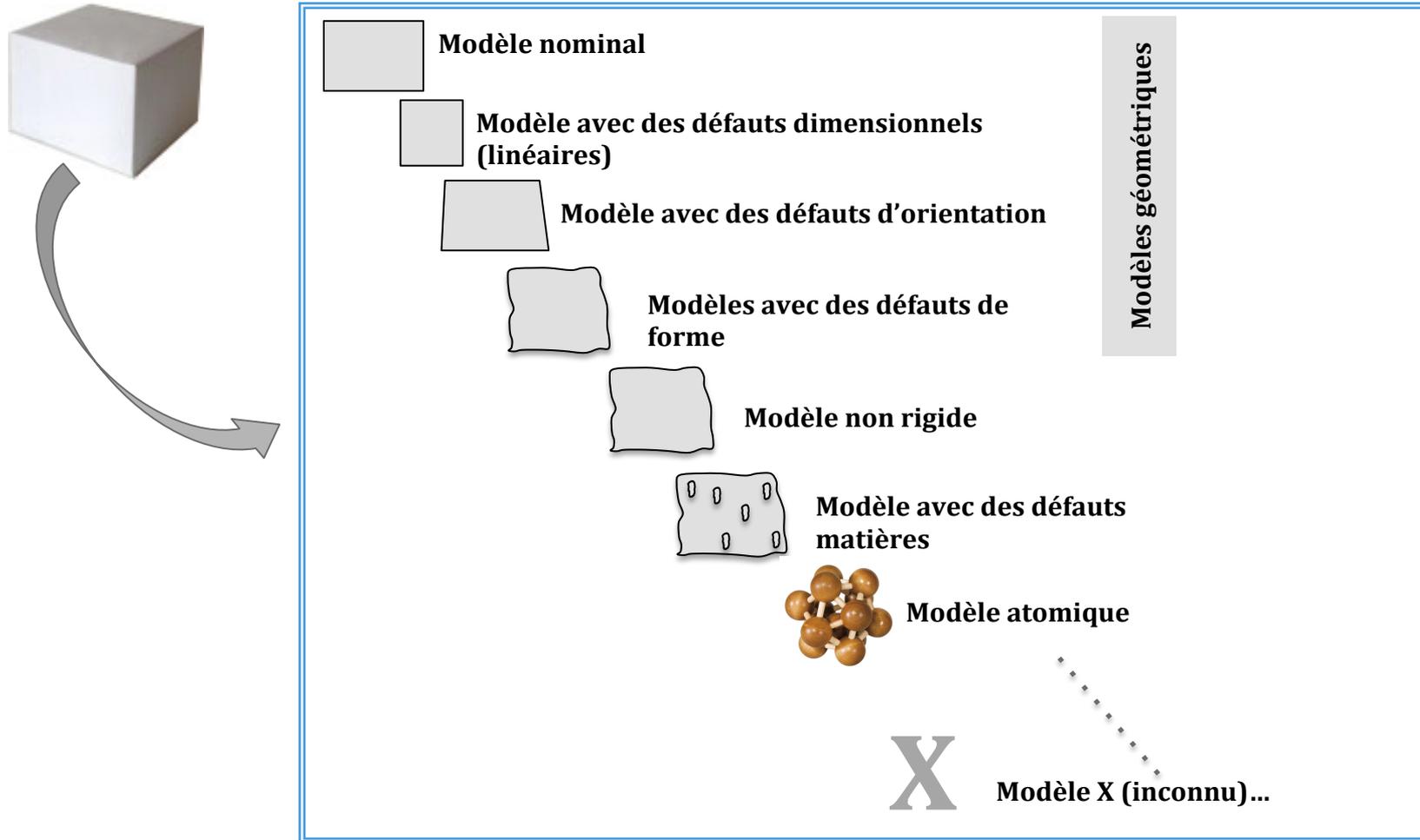
Modèle infini

Le modèle primitif est souhaité au plus proche du « réel ».

2 - Objets, Interactions et flux physiques

2.1 - Modèles

Monde abstrait (modèles)



Pour un même objet physique, il existe de nombreux modèles.



2 - Objets, interactions et flux physiques

2.2 - Objet

Il est nécessaire de considérer deux mondes.

Monde physique (réalité)



Un objet : ensembles, sous ensembles, élément de l'environnement, composants, pièces)

Propriétés de diverses natures :

- couleur,
- masse,
- coefficient d'élasticité,
- matière,
- longueur,
- défaut de forme,
- etc.

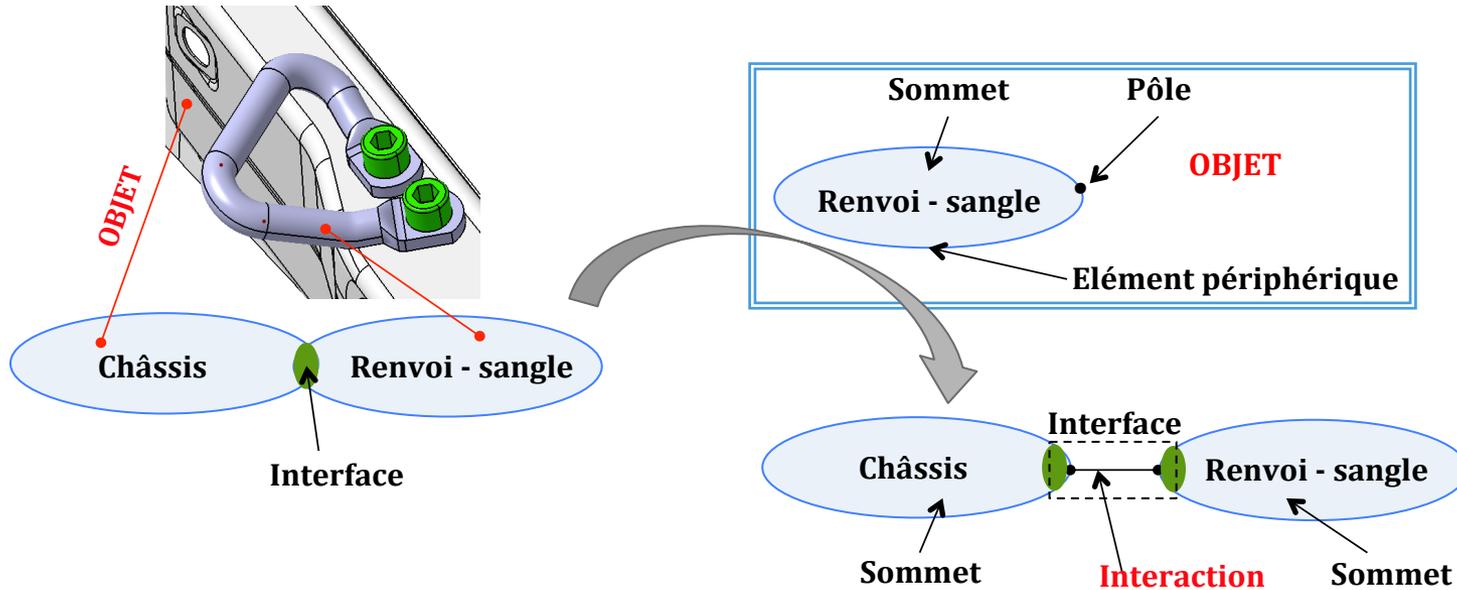
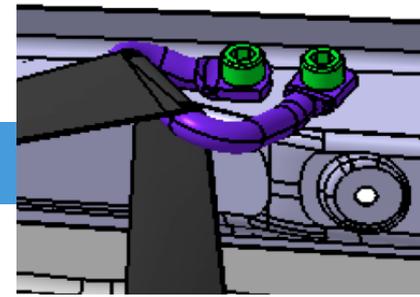
Monde abstrait
(modèles)



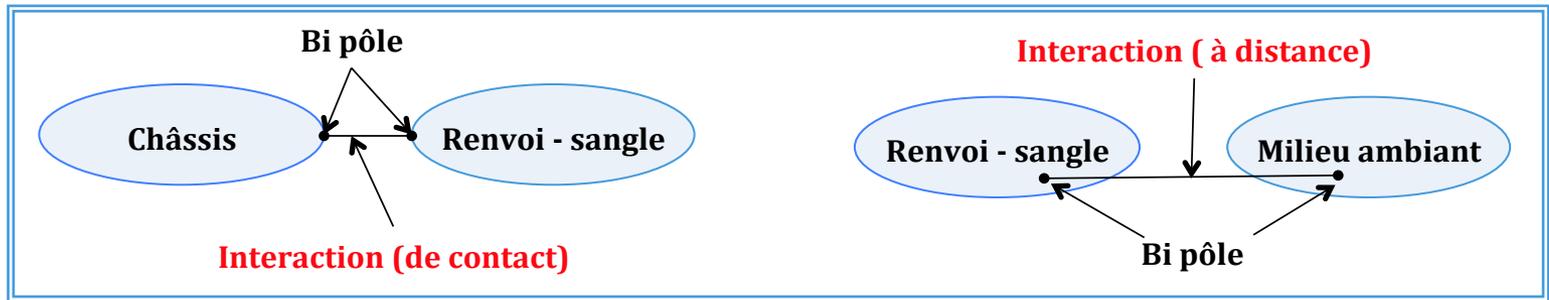
 Il faut un grand nombre de propriétés (modèle infini) pour être au plus proche du « réel »

2 - Objet, Interactions et flux physiques

2.3 - Interactions (physique)



Type d'interaction

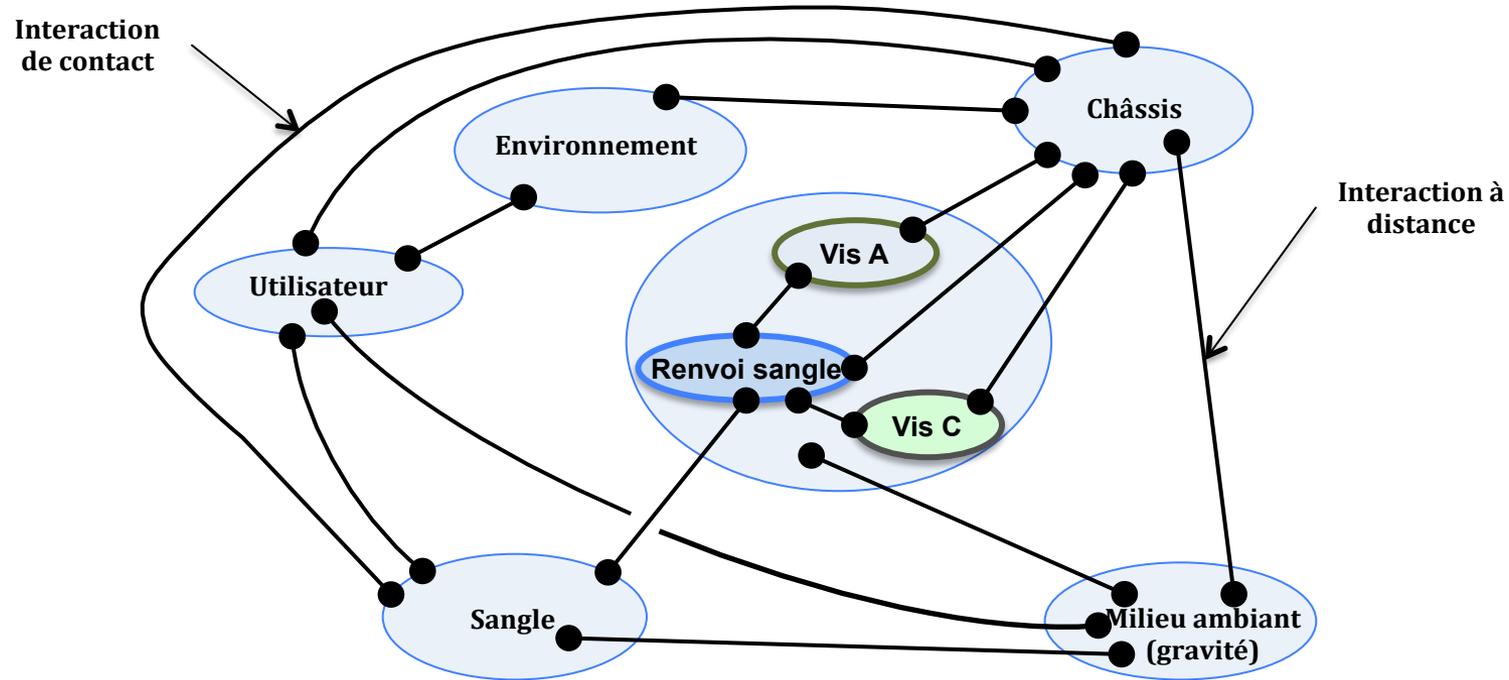
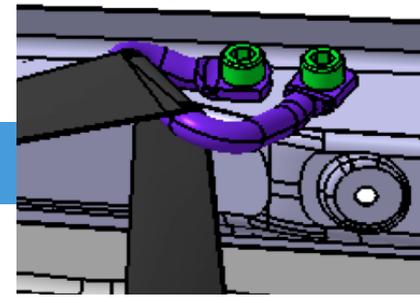


La traçabilité des interactions entre les objets.



2 - Objet, Interactions et flux physiques

2.3 - Interactions (physique)



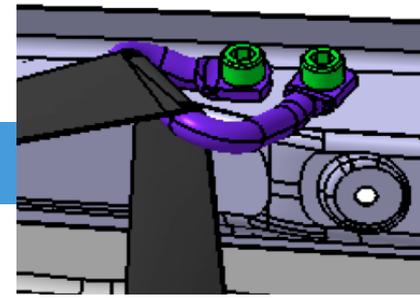
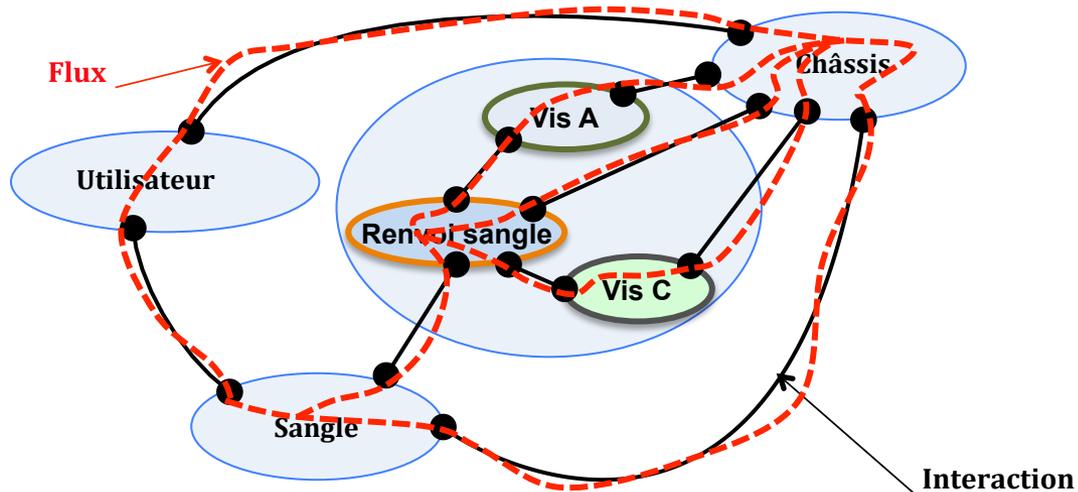
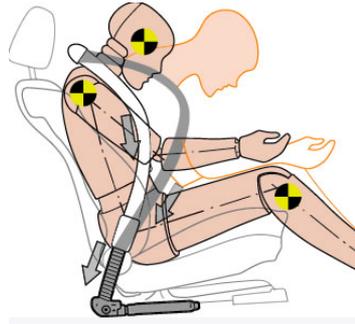
Une interaction est une action réciproque entre deux composants.



2 - Objet, Interactions et flux physiques

2.4 - Flux

Les échanges d'énergie et de matière au sein de ce système (ou plutôt de son modèle).



Le flux peut se propager entre deux composants en interaction.

2 - Objet, Interactions et flux physiques

Synthèse

- **Objet (ensembles, sous ensembles, élément de l'environnement, composants, pièces)**



- **Interactions de contact ou à distance**



- **Les flux**



2 - Objets, interactions et flux physiques

3 - Fonctions et spécifications

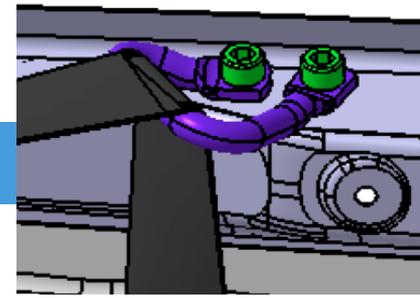
3.1 - Fonctions

3.2 - Spécifications

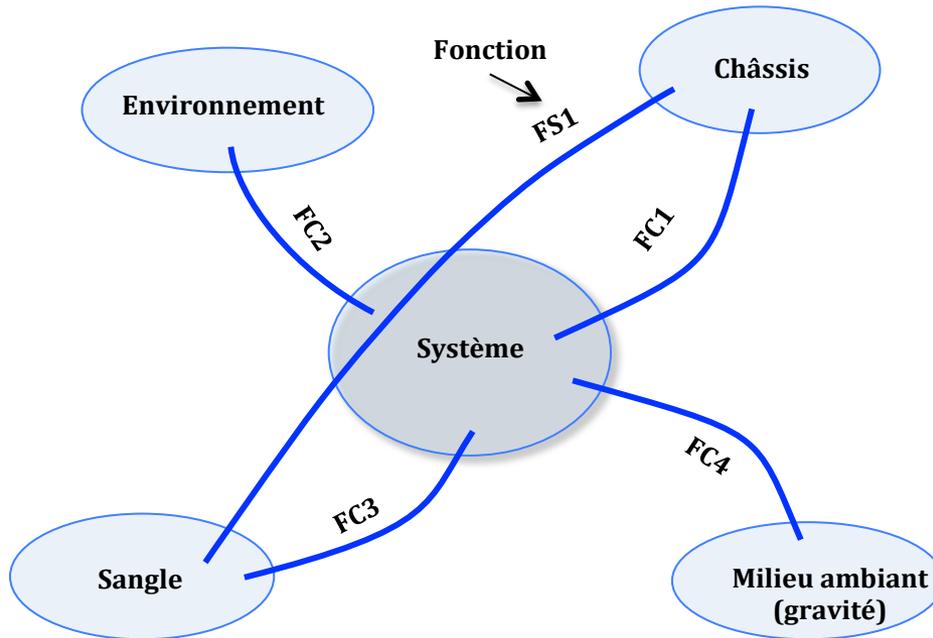
3.3 - Propriétés

3.4 - Opérations





Grappe des interacteurs



- FS1 : Maintenir en position la sangle par rapport au châssis (lors du choc)**
- FC1 : ne pas endommager la sangle**
- FC2 : ne pas interférer avec l'environnement (volume libre)**
- FC3 : ne pas agresser le châssis**
- FC 4 : s'adapter au milieu ambiant (gravité, température ...)**



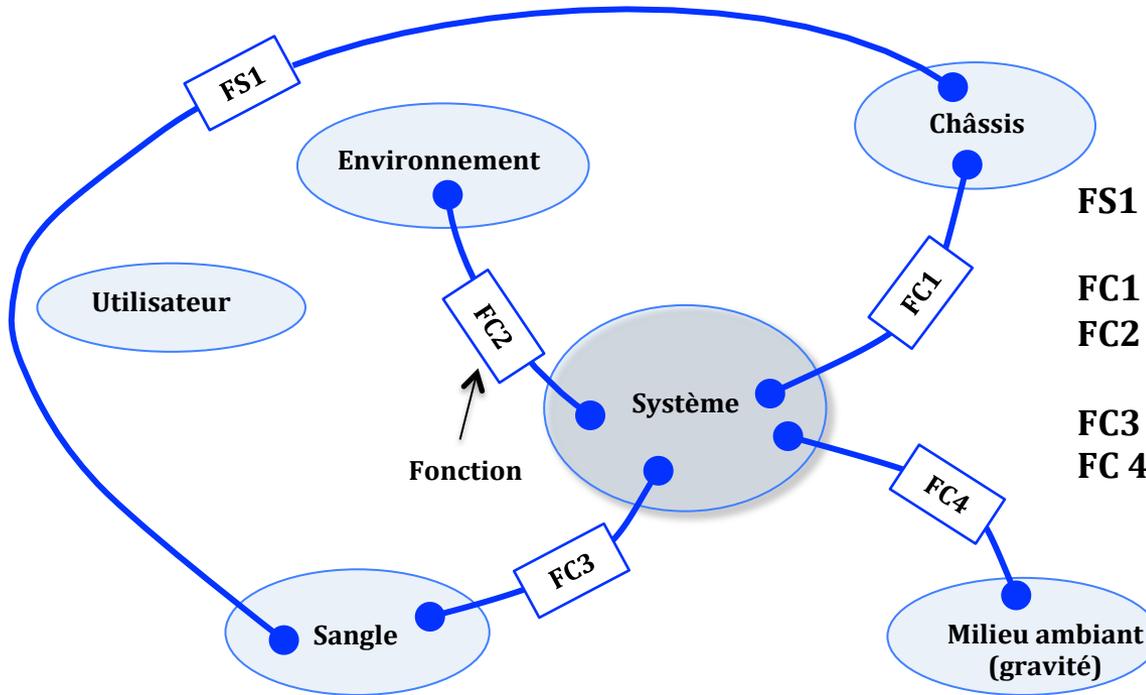
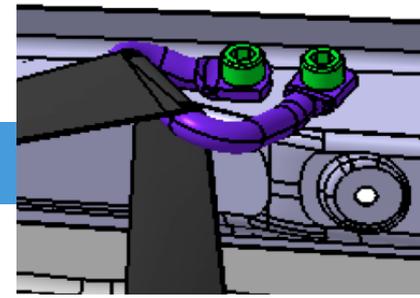
Besoin de définir les fonctions

(FD X50-159 : 2013)

3 - Fonctions et spécifications

3.1 - Fonctions

Les fonctions sont les actions attendues d'un produit (ou réalisées par lui) pour répondre à un élément du besoin de l'utilisateur.



FS1 : Maintenir en position la sangle par rapport au châssis (lors du choc)

FC1 : ne pas endommager la sangle

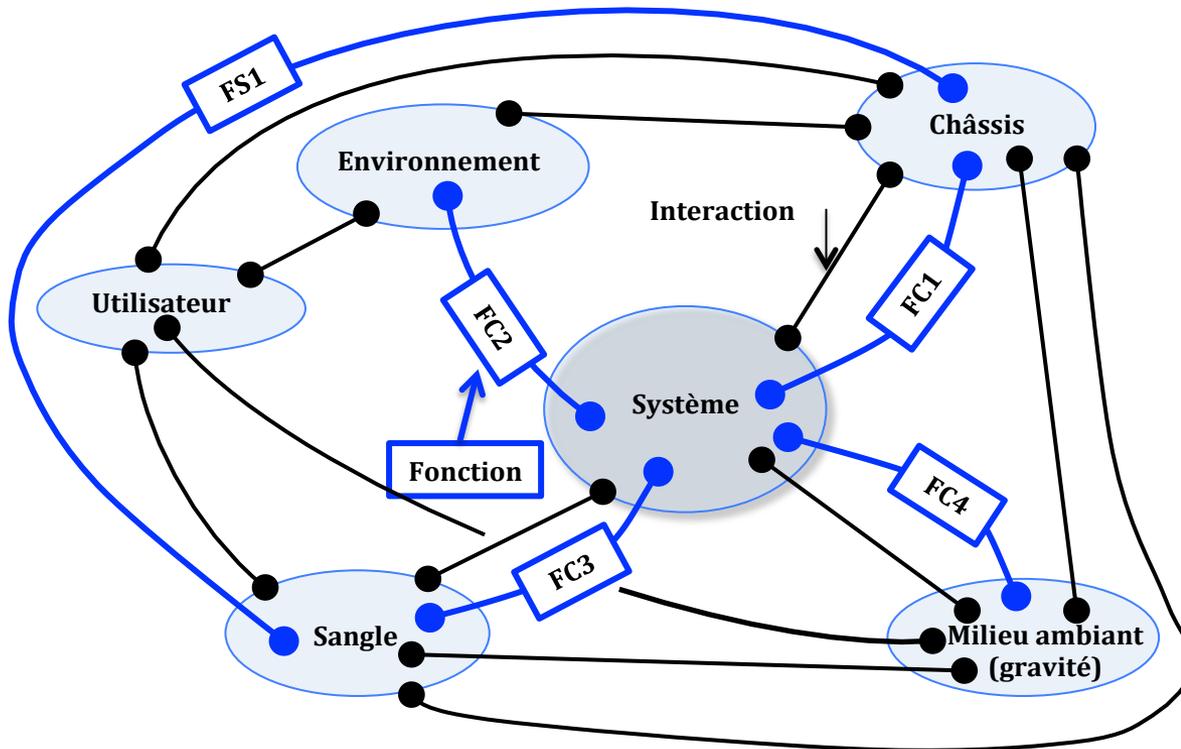
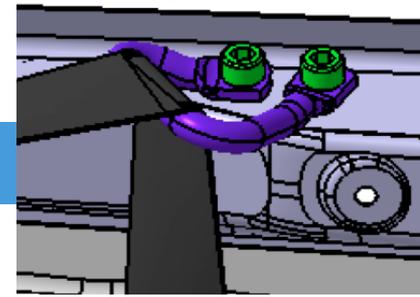
FC2 : ne pas interférer avec l'environnement (volume libre)

FC3 : ne pas agresser le châssis

FC 4 : s'adapter au milieu ambiant (gravité, température ...)

3 - Fonctions et spécifications

3.1 - Fonctions



Les interactions et les fonctions sont distinctes.

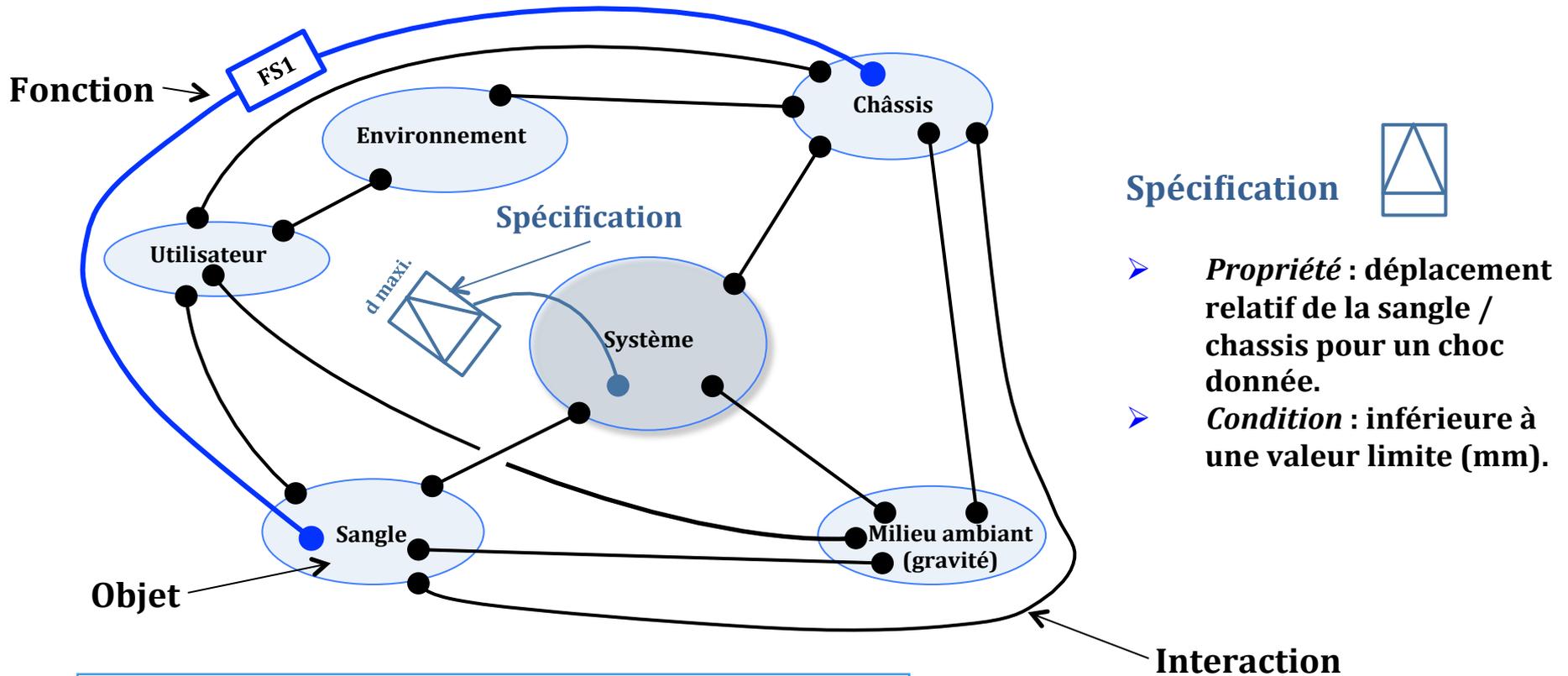
3 - Fonctions et spécifications

3.2 - Spécifications

Pour chaque fonction, nous postulons qu'il existe une spécification

Fonction

FS1 : Maintenir en position la sangle par rapport au châssis (lors du choc)

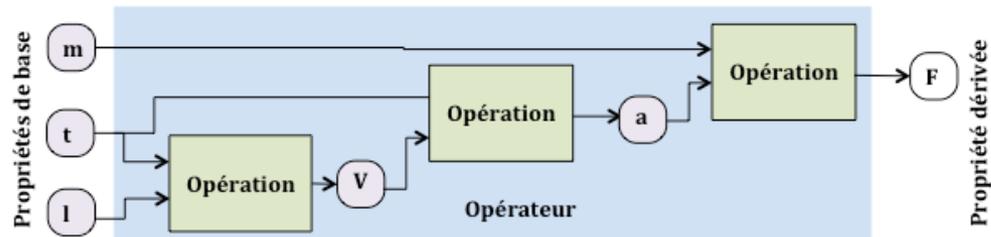
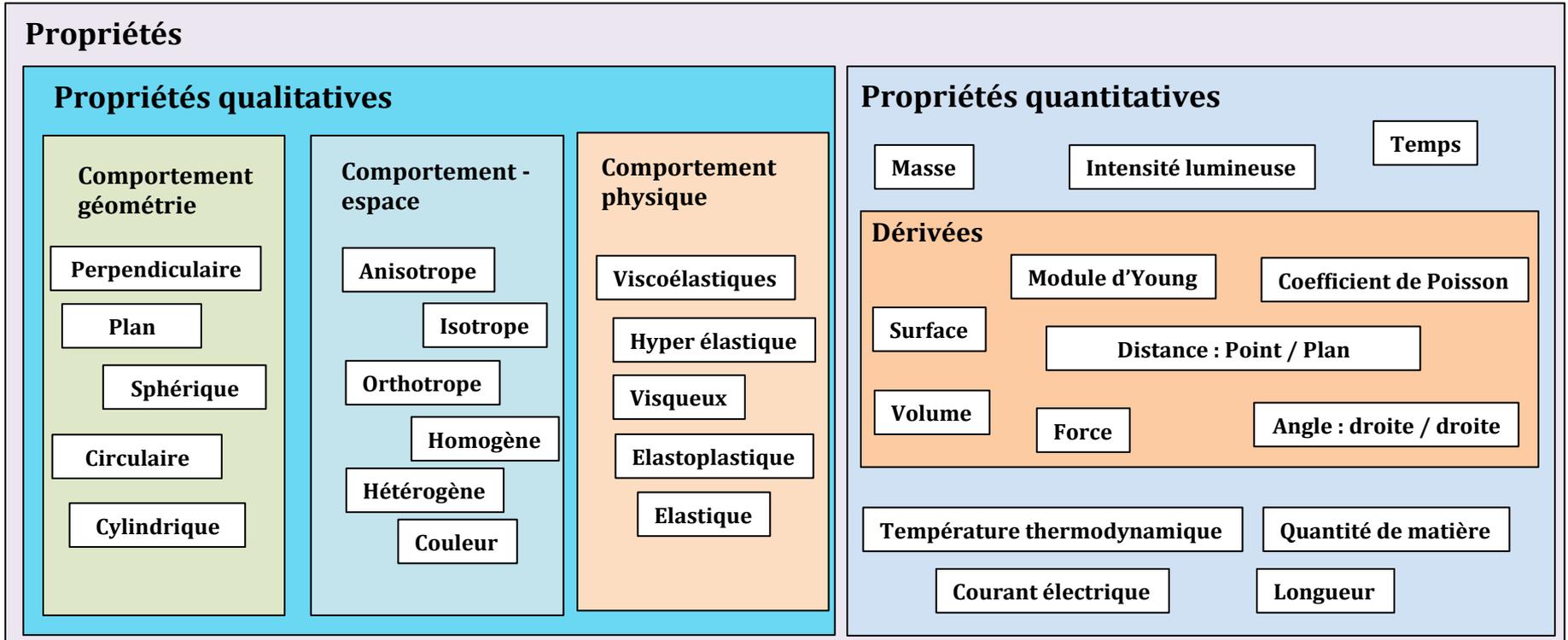


Une Spécification est une condition sur une propriété.

3 – Fonctions et spécifications

3.3 – Propriétés

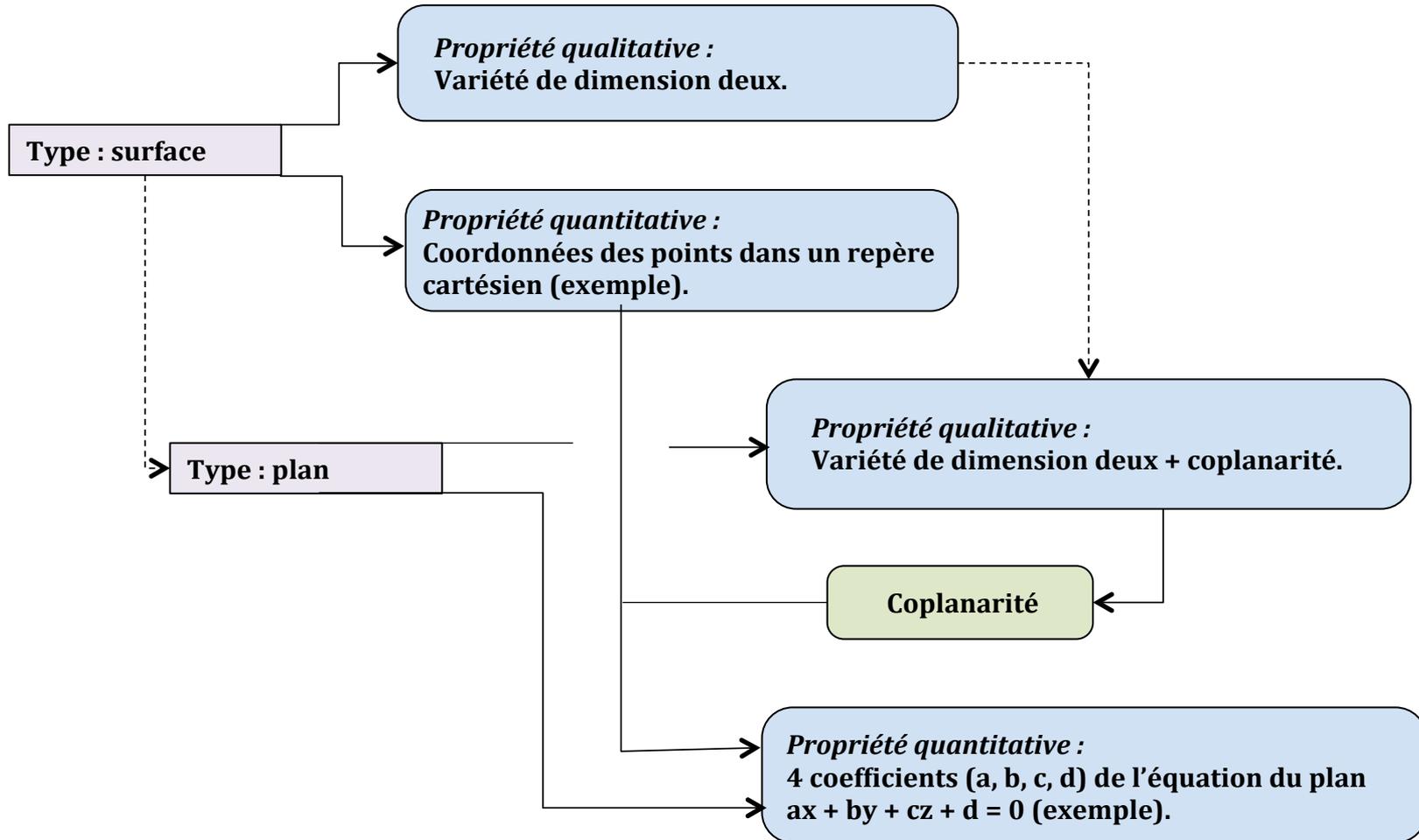
Un objet a des propriétés (quantitatives – qualitatives)



3 – Fonctions et spécifications

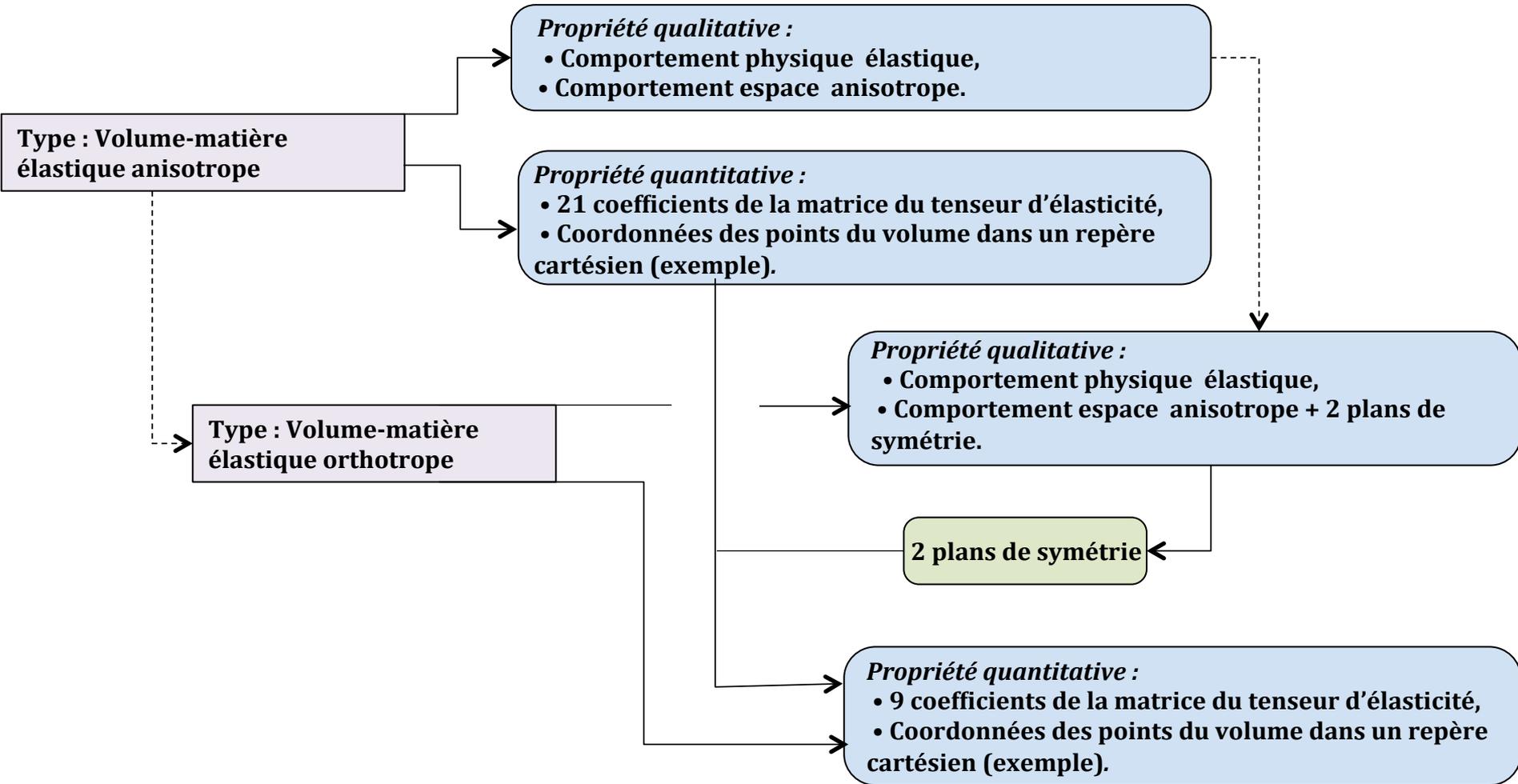
3.3 – Propriétés

Les propriétés d'un objet définissent son type.



3 – Fonctions et spécifications

3.3 – Propriétés



Un sous type est un type avec des propriétés additionnelles.



3 – Fonctions et spécifications

3.3 – Propriétés

Le type d'un objet correspond à une classe d'éléments ayant les mêmes propriétés.

Type : composant de guidages en rotation

Type : palier

- Type : Palier lisse
- Type : palier appliqué 2 points de fixation
- Type : palier à chapeau 2 points de fixation
- Type : Palier épaulé

Type bride à roulement radial

- Type : ronde
- Type : carrée
- Type : tronquée

Type : roulement à rouleaux cylindriques

- Type : roulement à rouleaux cylindriques
- Type : roulement à rouleaux cylindriques jointifs

Type : roulement

- Roulement à aiguilles CPM

Type : roulement à billes

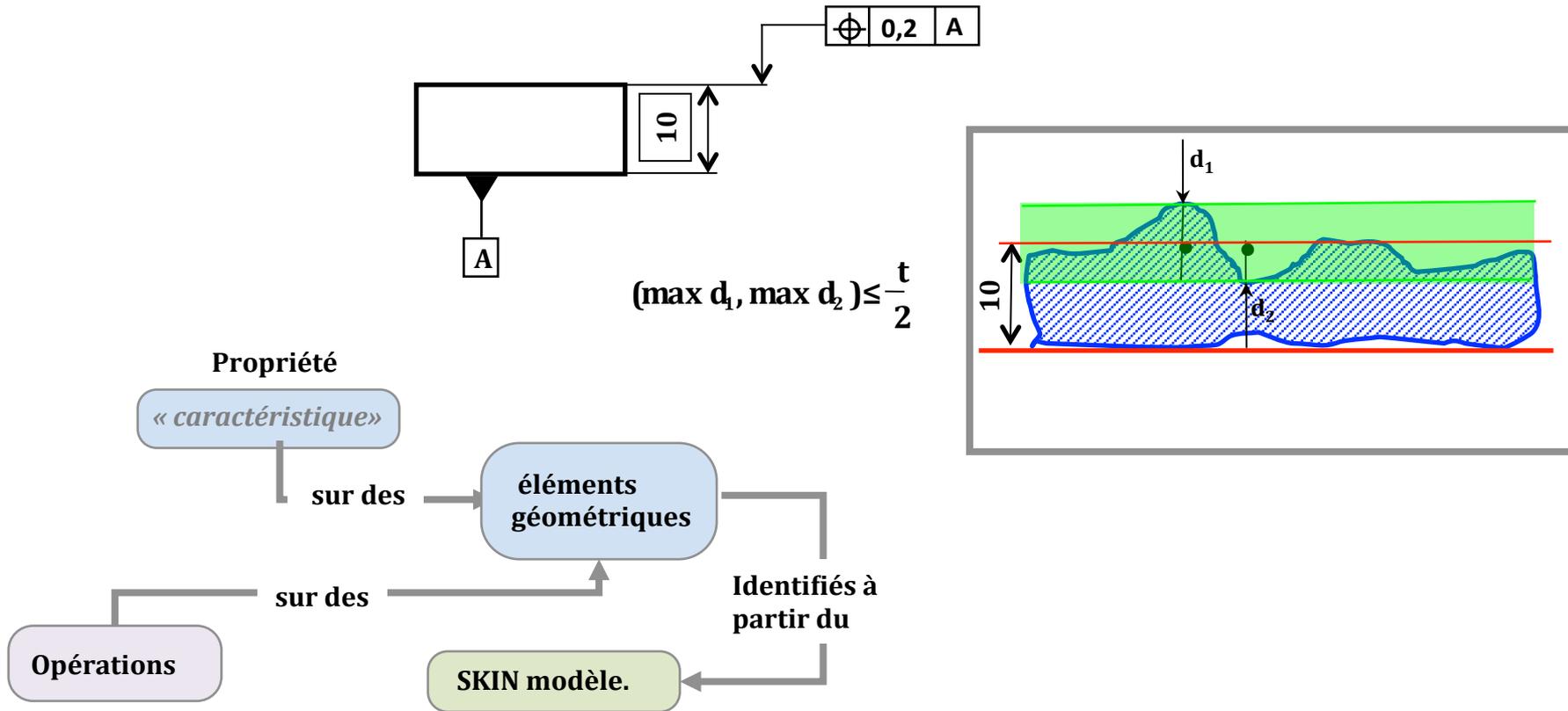
- Type : roulement à billes à une rangée
- Type : roulement à billes à une rangée : diamètre intérieur 12 mm, charge statique 3100 N
 - SKF Réf : 6201/VA201
 - UBC Bearing Réf : 6201 2RS
- Type : roulement à double rangée de billes à contact oblique
- Type : roulement à billes à contact oblique



Le type final est un sous-type du type père.

3 - Fonctions et spécifications

3.4 - Opérations

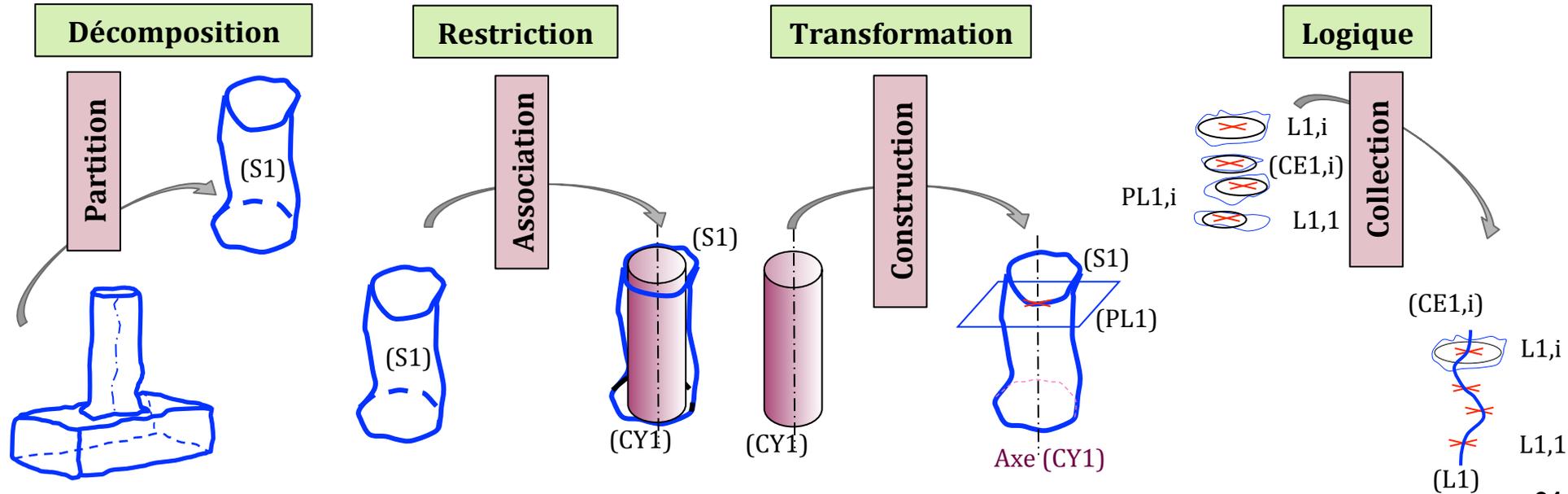
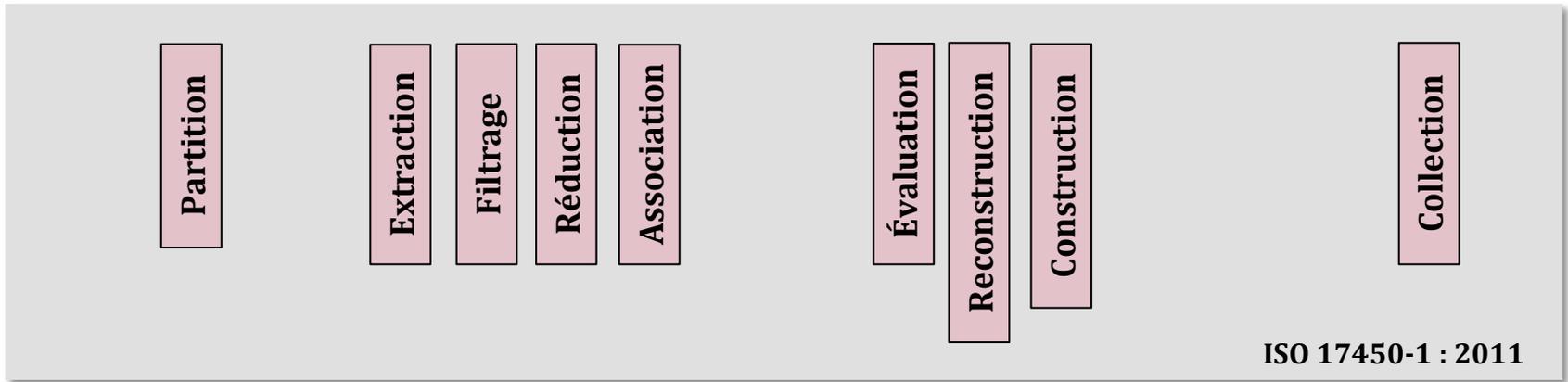


Les opérations sont appliquées aux éléments géométriques.

3 - Fonctions et spécifications

3.4 - Opérations

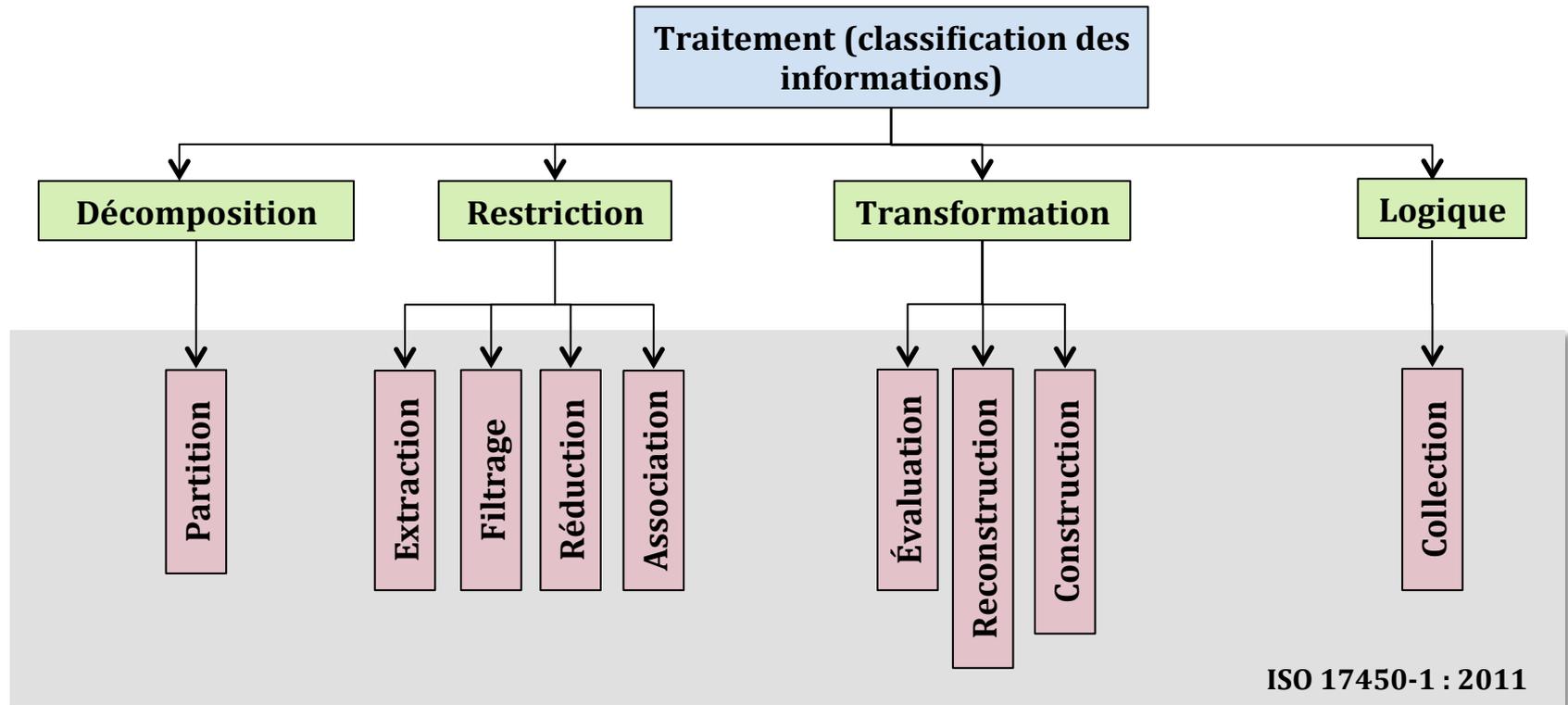
La classification des opérations géométriques.



3 - Fonctions et spécifications

3.4 - Opérations

La classification des opérations géométriques.

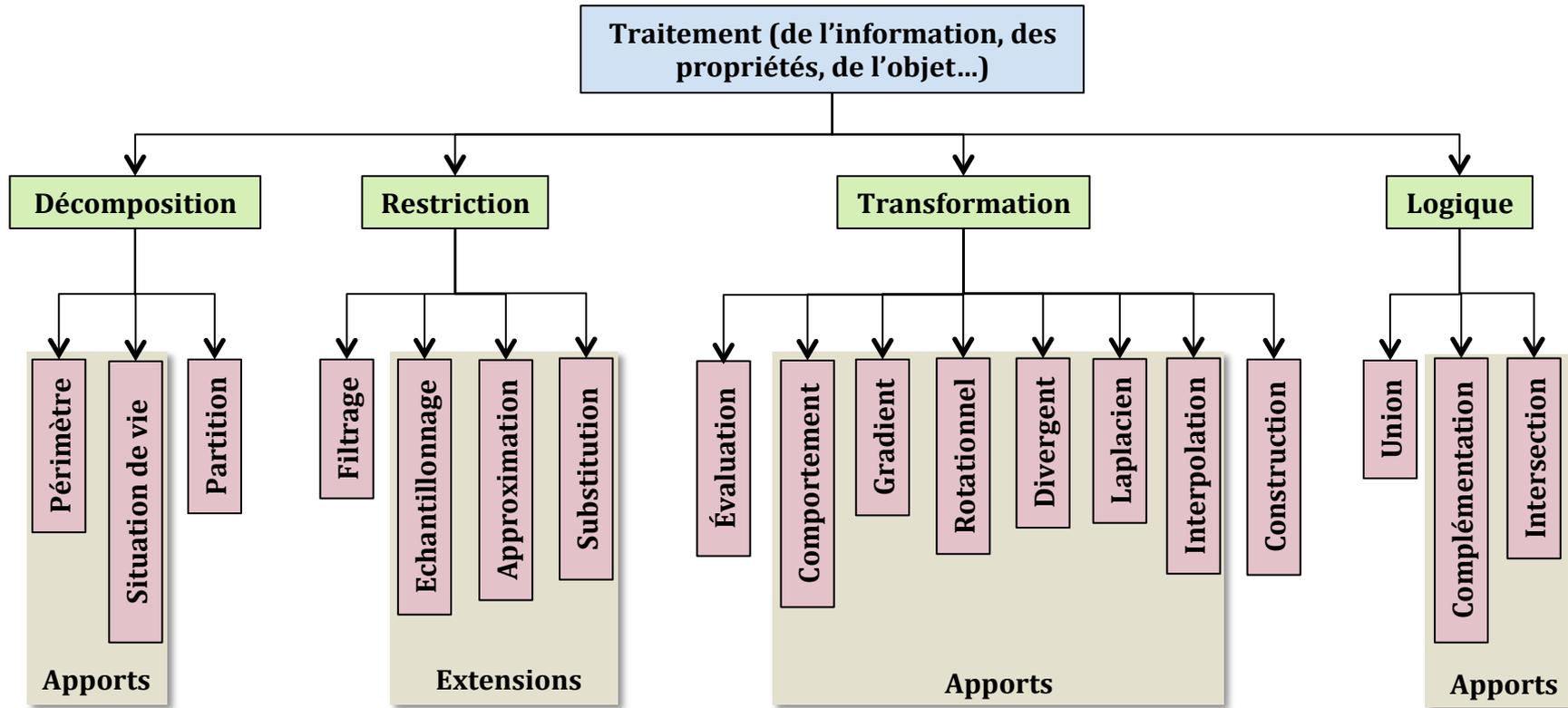


Regroupement en quatre classes d'opérations plus générales

3 - Fonctions et spécifications

3.4 - Opérations

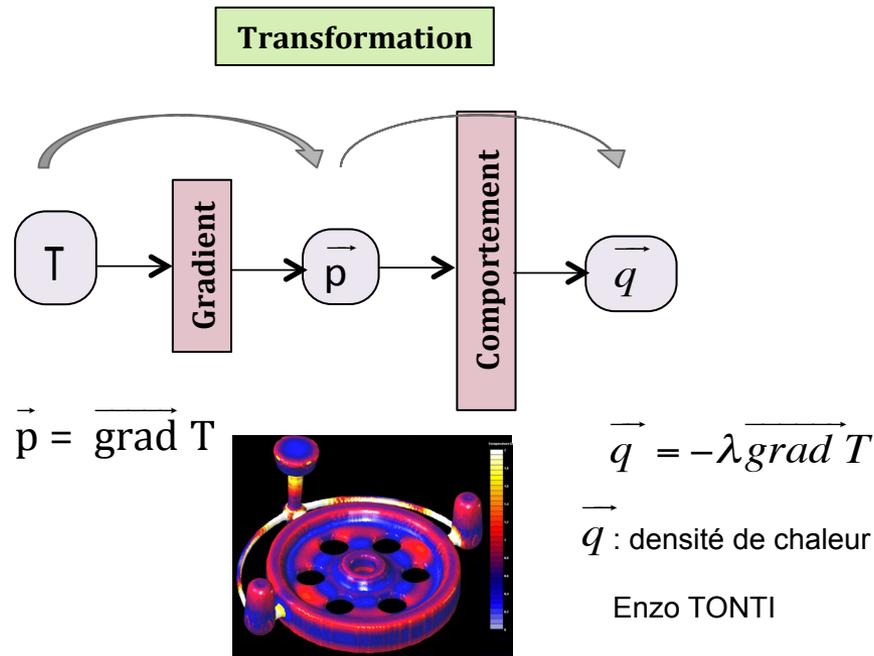
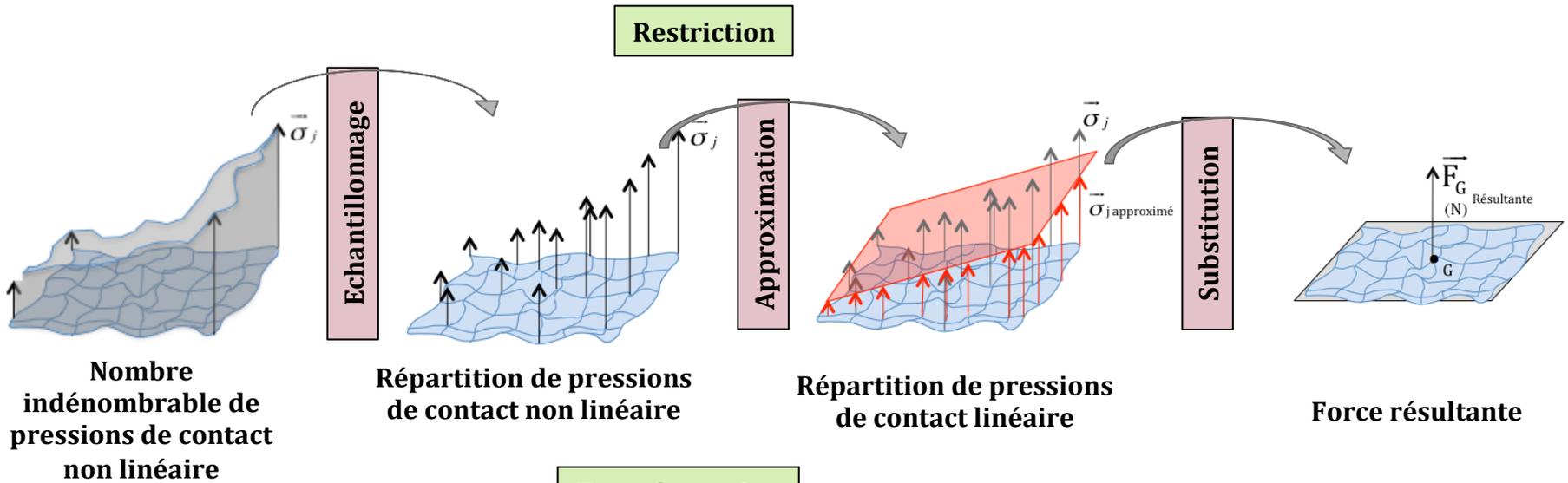
La classification des opérations physiques.



La liste des opérations physiques n'est pas exhaustive.

3 - Fonctions et spécifications

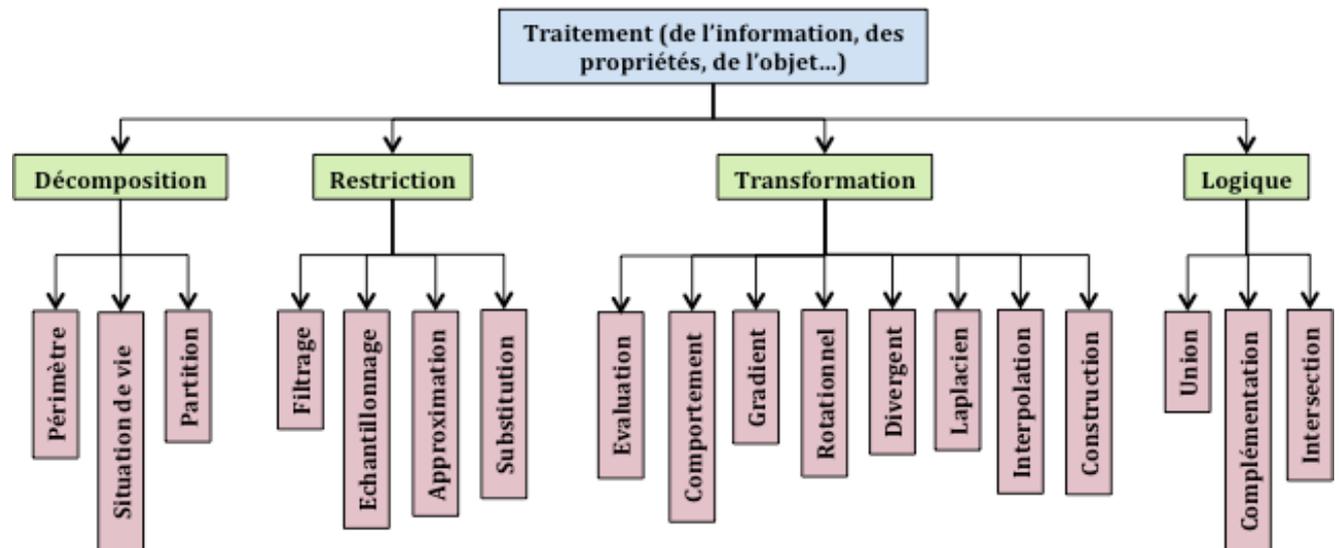
3.4 - Opérations



3 - Fonctions et spécifications

Synthèse

- Pour chaque fonction, nous postulons qu'il existe une spécification
 - Une spécification est une condition sur une propriété.
 - Les propriétés peuvent être quantitatives ou qualitatives.
 - Une propriété dérivée provient d'un opérateur.
 - Un opérateur est un ensemble d'opérations ordonnées.
- Opérations.



2 - Objets, interactions et flux physiques

3 - Fonctions et spécifications

4 - Processus de modélisation

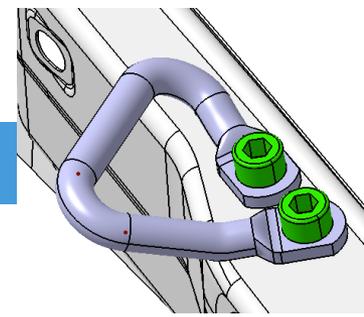
4.1 - Étapes de modélisation

4.2 - Spécifications

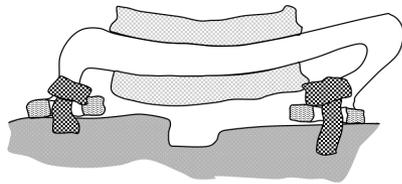
4.3 - Simulation



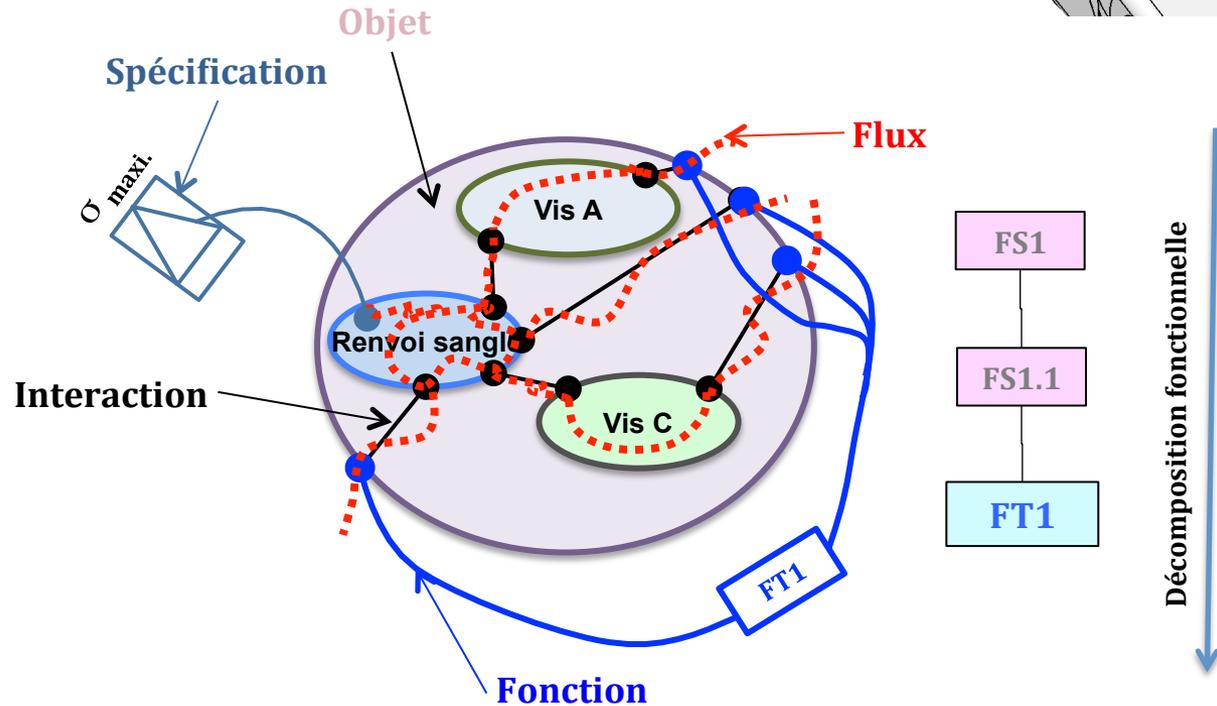
4 - Processus de modélisation



Modèle primitif



- matériau hétérogène
- comportement « réel »
- Défaut de forme

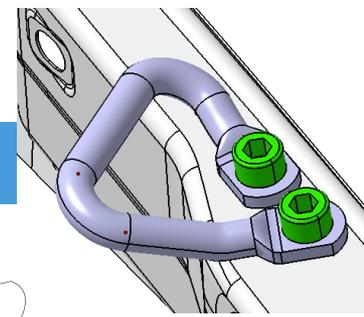


FT1, « maintenir la sangle par rapport au châssis lors du choc ».

Comment évaluer la satisfaction des fonctions au travers d'un modèle de simulation ?

4 - Processus de modélisation

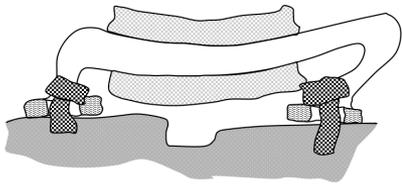
4.1 - Étapes de modélisation



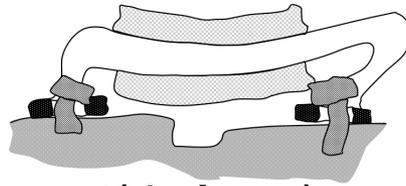
Approximation

Substitution

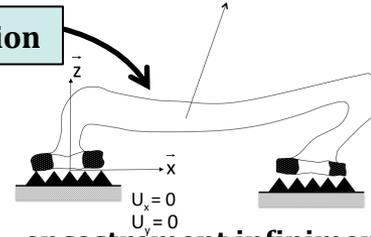
Modèle primitif



- matériau hétérogène
- comportement « réel »
- Défaut de forme



- matériau homogène
- comportement élastique



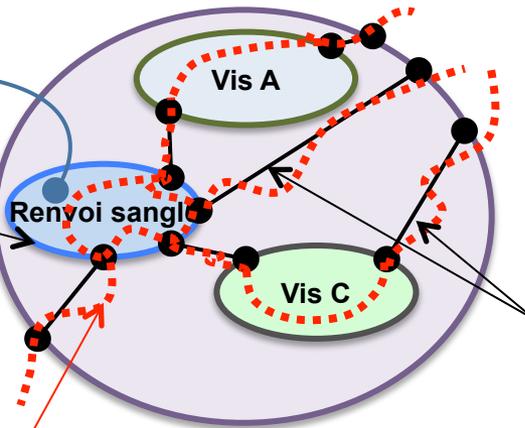
- encastrement infiniment rigide entre le renvoi sangle, les vis et le châssis
- remplacement des actions locales de la sangle par un effort résultant

Approximation

Spécification

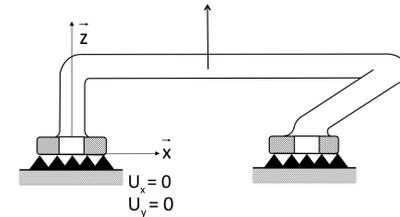


Objet
Matière
Volume

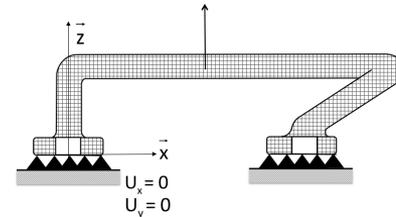


Interactions

Flux



- géométrie (idéale)



- matériau homogène
- comportement élastoplastique
- maillage (géométrie discrétisée)

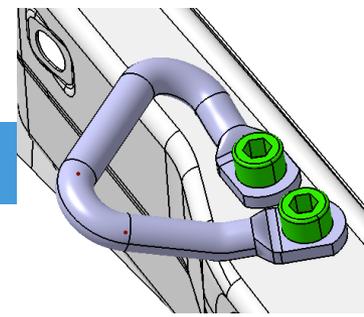
Echantillonnage

Modèles finis

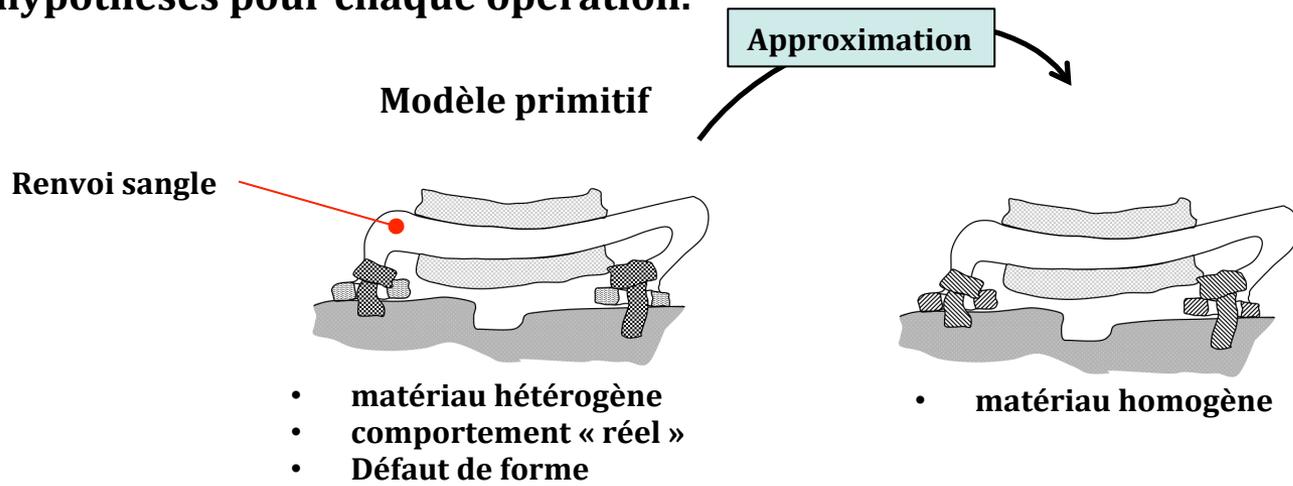
Le modèle final est obtenu par un ensemble d'opérations identifiées à partir du modèle primitif.

4 - Processus de modélisation

4.2 - Spécifications (maîtrise des hypothèses)

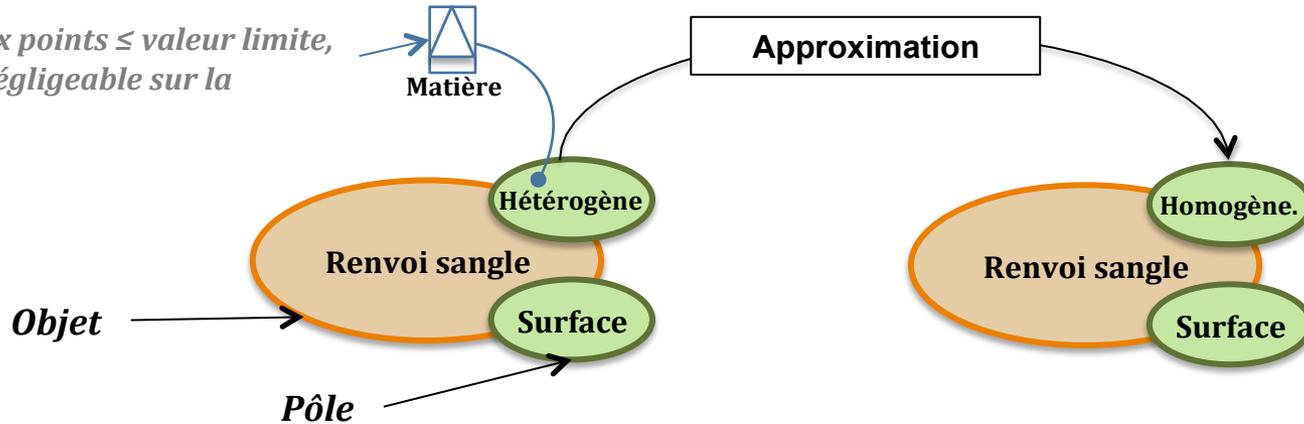


Spécifier les hypothèses pour chaque opération.



Spécification

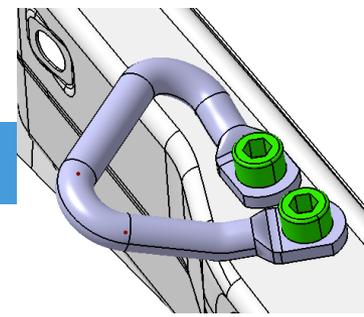
Hétérogénéité entre deux points \leq valeur limite, alors son influence est négligeable sur la propriété à simulée



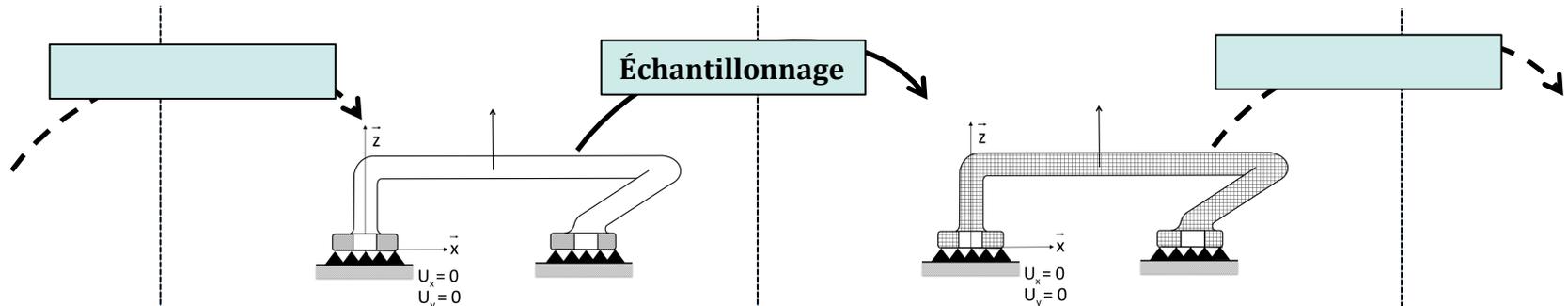
A chaque opération est associée une spécification pour passer à l'étape suivante.

4 - Processus de modélisation

4.3 - Simulation



Modèle de simulation



- géométrie (idéale)

- matériau homogène
- comportement élastoplastique
- maillage (géométrie discrétisée)

Modèle infini

Modèle fini

Modèle inadapté

Modèle adapté

inadapté

← Infini

Nombre de propriétés croissant

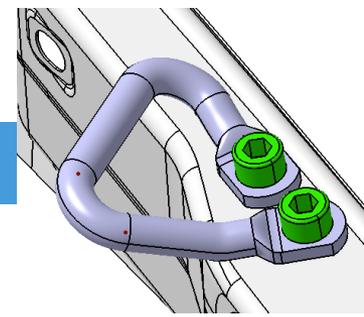
0



Le modèle de simulation est un modèle adapté à la propriété simulée.

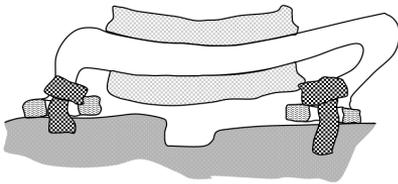
4 – Processus de modélisation

Synthèse



- Identifier un modèle primitif (au plus proche du « réel »).
- Déterminer un modèle de simulation à partir d'opération.
- Tracer les hypothèses associées à chaque étape du processus de modélisation.

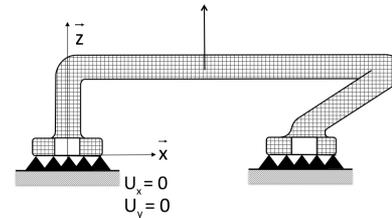
Modèle primitif



- matériau hétérogène
- comportement « réel »
- Défaut de forme

Modèle inadapté

Modèle de simulation



- matériau homogène
- comportement élastoplastique
- maillage (géométrie discrétisée)

Modèle adapté



2 - Objets, interactions et flux physiques

3 - Fonctions et spécifications

4 - Processus de modélisation

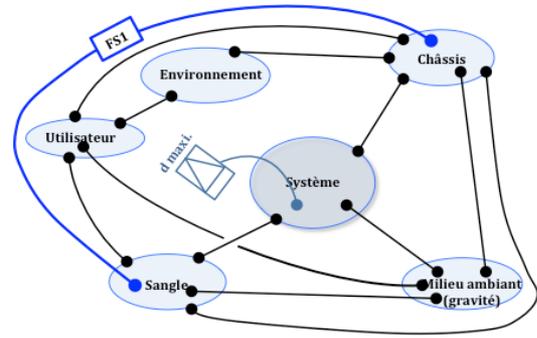
5 - Processus de conception globale

5.1 - Plusieurs niveaux

5.2 - Simulation multiniveau de la décomposition fonctionnelle



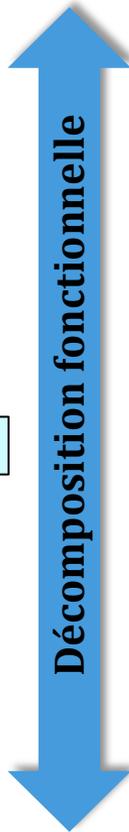
5 - Processus de conception globale



FS1

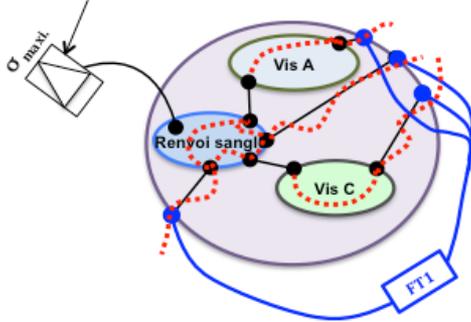
FS1.1

FT1

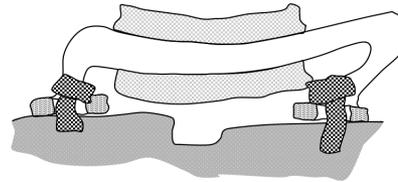


FT1, « maintenir la sangle par rapport au châssis lors du choc ».

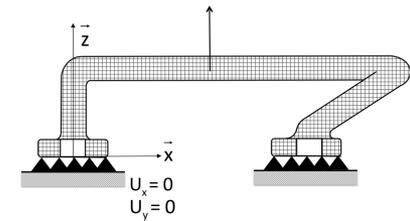
Spécification



Modèle primitif



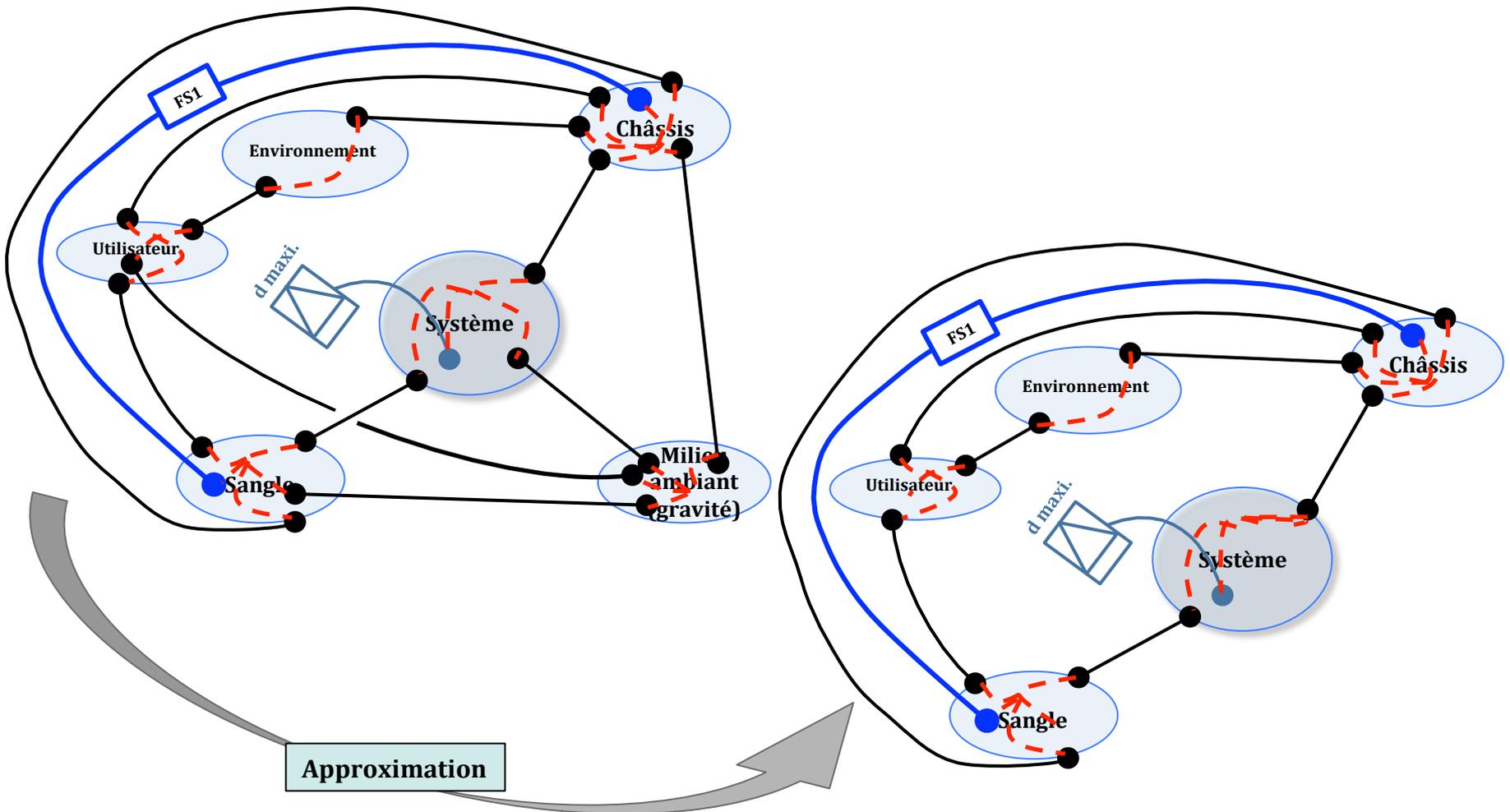
Modèle de simulation



Processus de modélisation à chaque niveau.

5 - Processus de conception globale

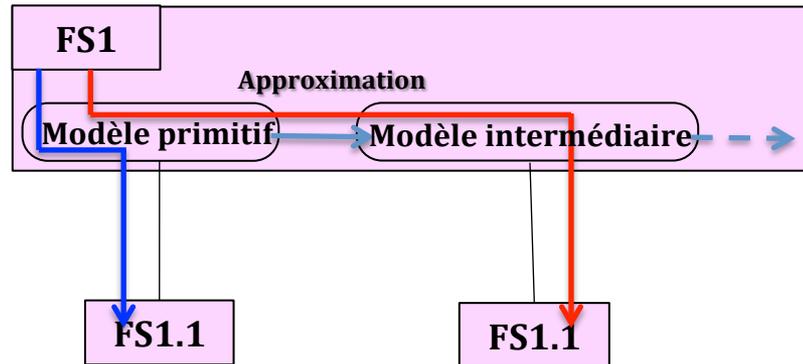
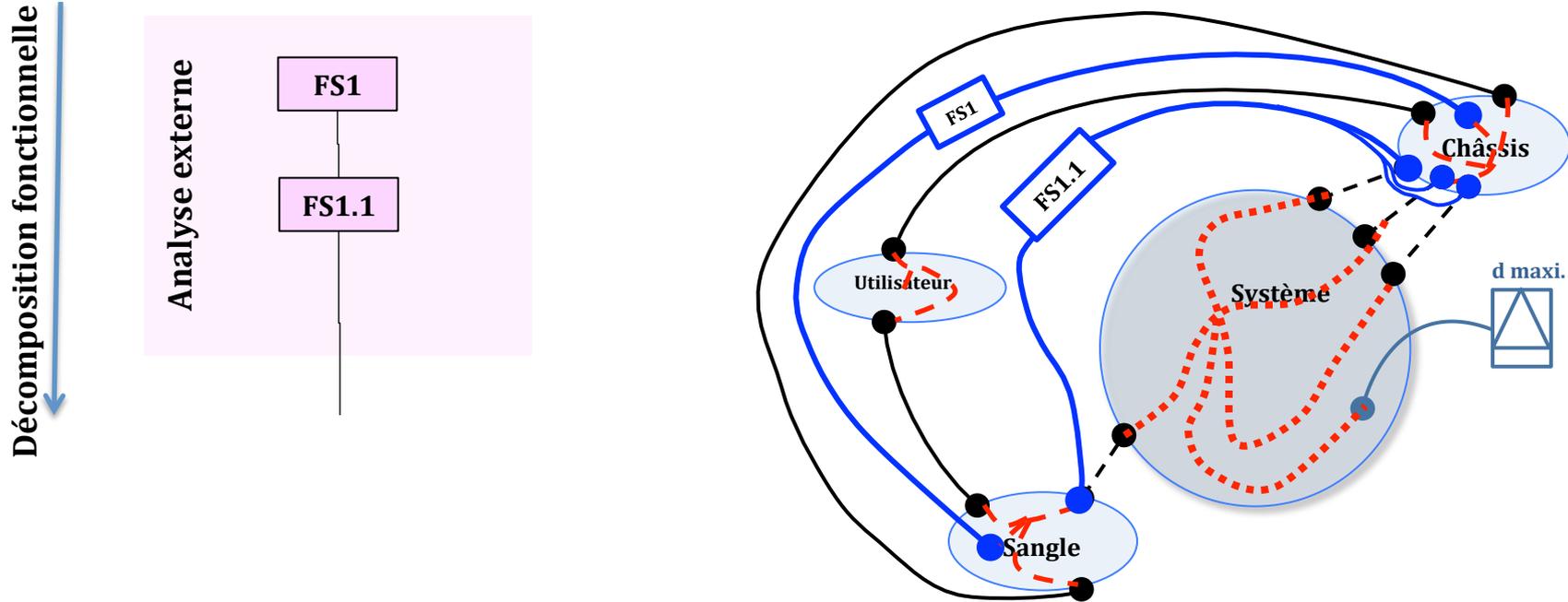
5.1 - Plusieurs niveaux



Le processus de modélisation s'applique aux différents niveaux de la décomposition fonctionnelle.

5 - Processus de conception globale

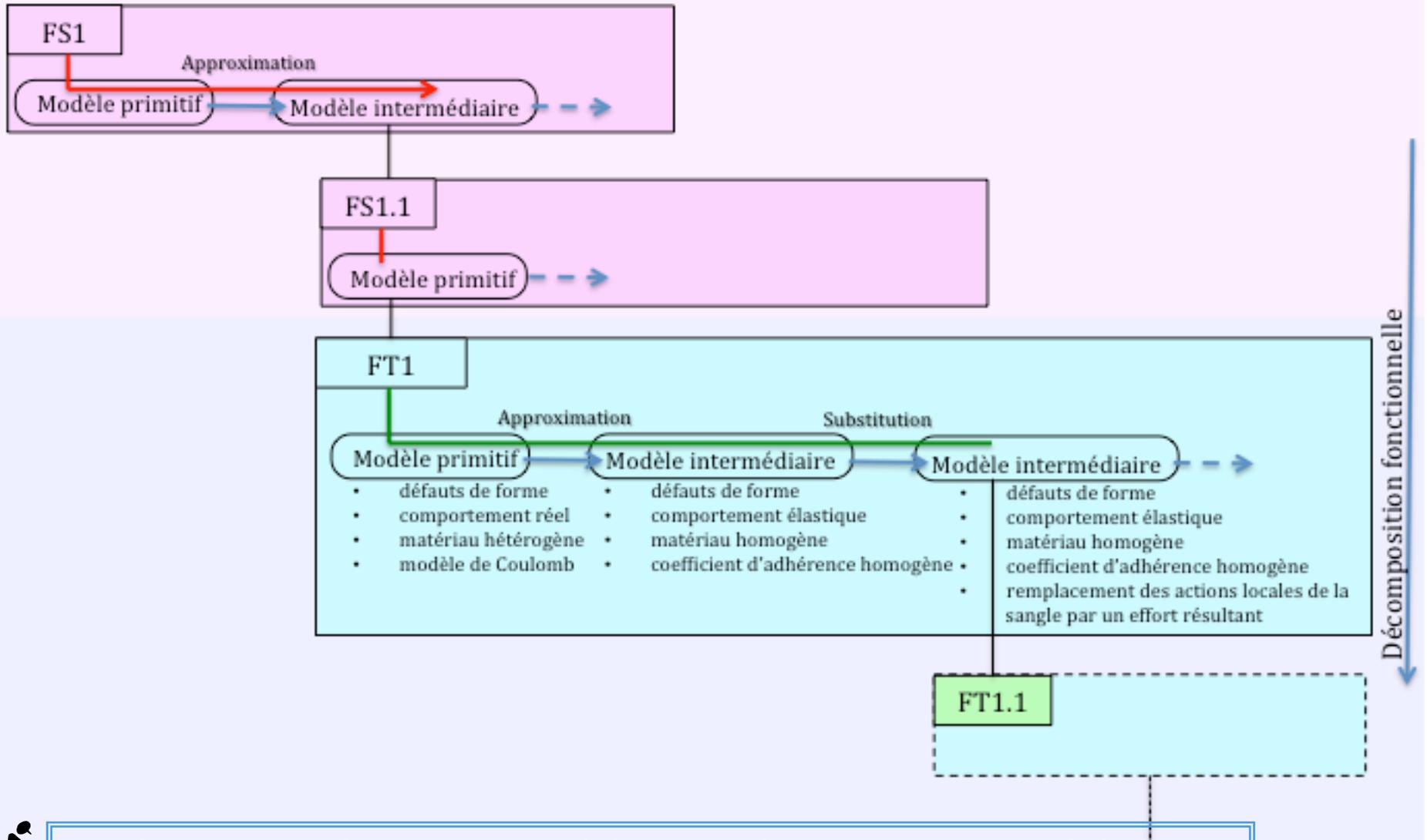
5.1 - Plusieurs niveaux



Traçabilité de la décomposition fonctionnelle.

5 - Processus de conception globale

5.2 - Simulation multiniveau de la décomposition fonctionnelle



Modèle primitif hérite des propriétés du modèle de la fonction précédente.

5 – Processus de conception globale

- **Appliquer le processus de modélisation à chaque niveau de la décomposition fonctionnelle.**
- **Tracer la décomposition fonctionnelle et structurelle (hypothèses).**

2 - Objets, interactions et flux physiques

3 - Fonctions et spécifications

4 - Processus de modélisation

5 - Processus de conception globale

6 - Bilan et perspectives

6.1 - Bilan

6.2 - Perspectives



6 – Bilan et perspectives

6.1 – Bilan

Nous proposons :

- **Une vision globale.**
 - En définissant sans ambiguïté les modèles et les propriétés utilisables pour l'ensemble des outils.**
- **Des définitions non ambiguës (spécification, fonction...).**
- **Un processus de modélisation.**
- **Des modèles (primitif, inadapté, ...).**
- **Un modèle de simulation adapté à une activité.**
- **Des opérations pour établir le processus de modélisation.**
- **Des spécifications de maîtrise des hypothèses.**
- **Un schéma procédural permet la traçabilité de l'ensemble des opérations .**

6 – Bilan et perspectives

6.2 – Perspectives

Nous souhaiterions :

➤ **Mise en situation.**

Confronter notre outil par rapport aux méthodologies de conception existantes dans la littérature.

➤ **Démarche architecturale.**

Les modèles et les concepts mis en place sont suffisamment généraux pour servir de supports à la description de différentes stratégies de découpage architectural.

➤ **Formalisation des processus.**

Les opérations proposées pour manipuler les modèles permettent d'alimenter un modèle informatique.

Merci pour votre attention.