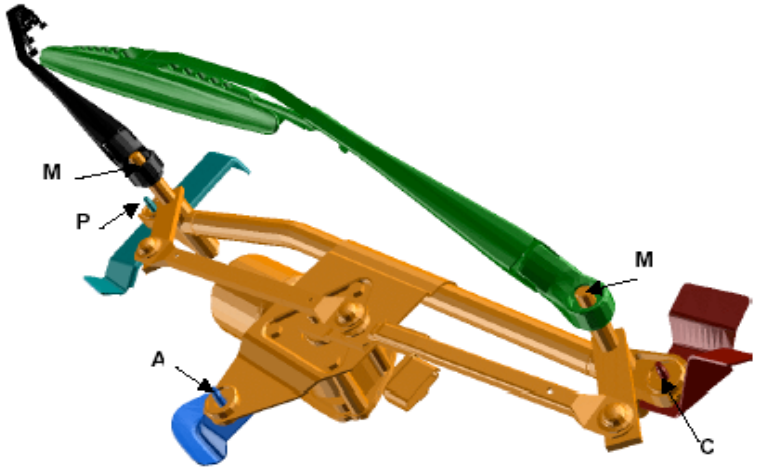
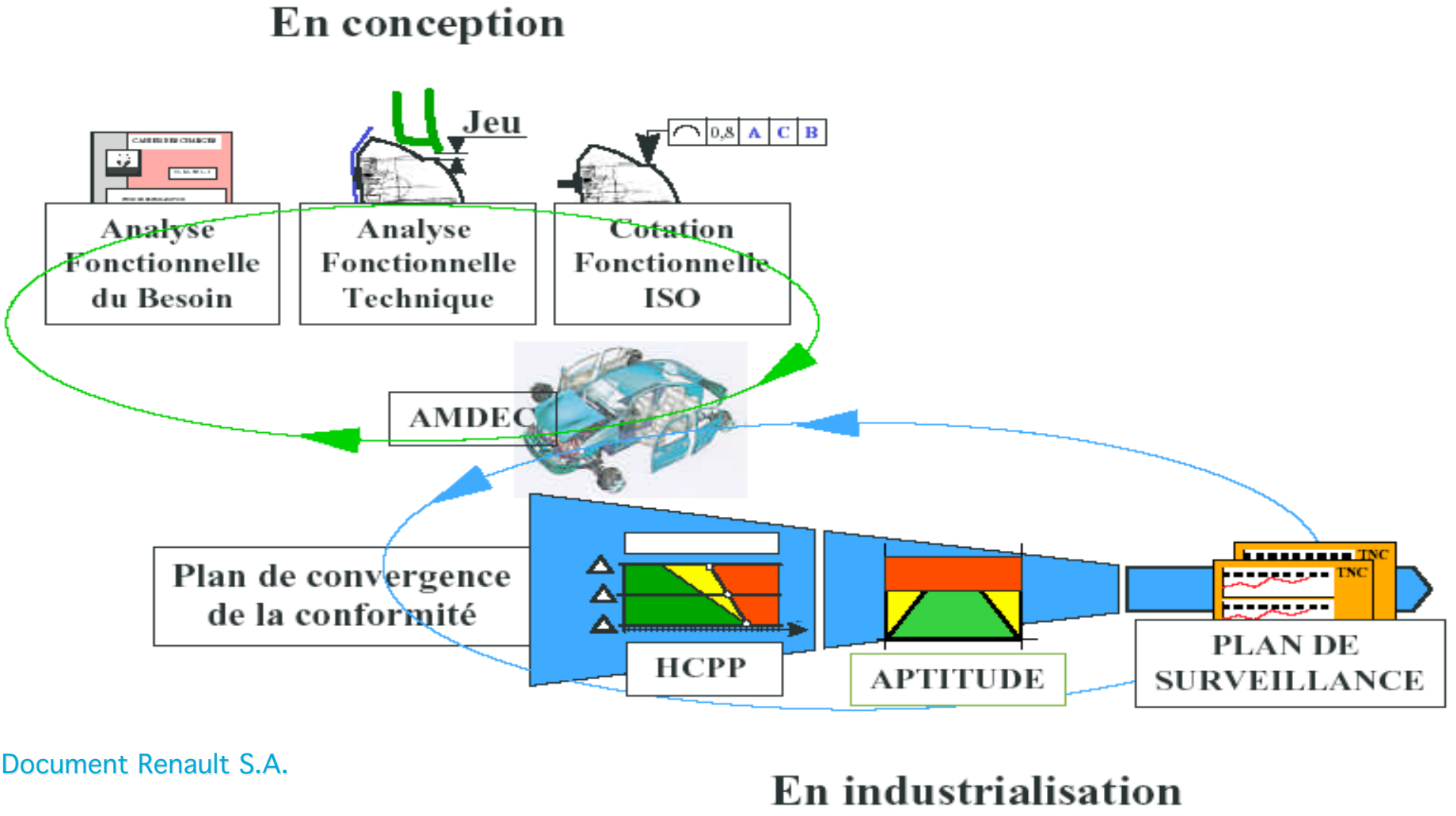
Spécification géométrique des produits (GPS)

- Le tolérancement géométrique c'est :
  - Un moyen normalisé pour exprimer les limites des variations de la "géométrie réelle" des pièces



Place du Tolérancement géométrique en conception du couple produit-processus

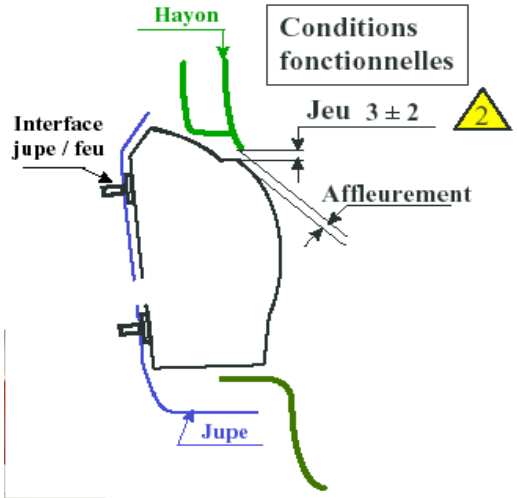


Document Renault S.A.

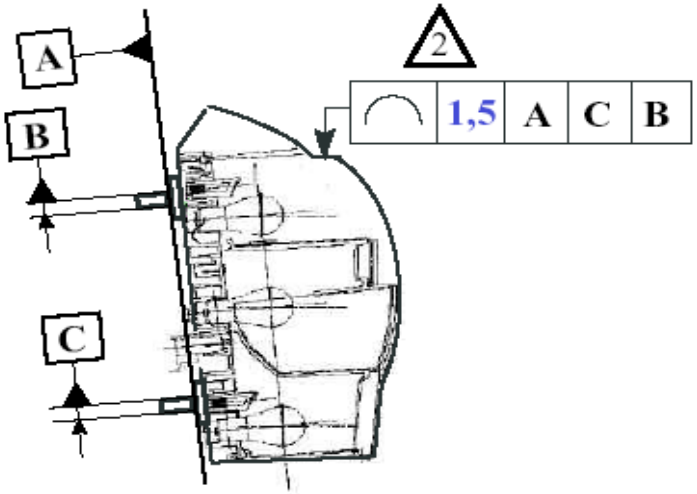
Spécification géométrique des produits (GPS)

- Maîtriser, par des caractéristiques géométriques significatives, les fonctionnalités d'un système

Formuler le besoin fonctionnelle



Exprimer le besoin en Conditions géométriques fonctionnelles



Répartir les conditions fonctionnelles sur les pièces du mécanisme et les exprimer par des Tolérances ISO

Spécification géométrique des produits (GPS)

- Maîtriser, par des caractéristiques géométriques significatives, les fonctionnalités d'un système
- Garantir « la satisfaction du besoin du client » aussi bien en conception du couple produit-processus qu'en production
- C'est un moyen de « mesurer » par une grandeur physique « la satisfaction du besoin du client »

Attentes, besoins, interrogations

- Le tolérancement géométrique c'est également un outil de communication entre :
  - **Le Bureau d'études** :
    - Qui spécifie géométriquement des fonctions techniques liées à l'assemblage et aux liaisons entre les composants
    - Qui estime en terme de gravité le non respect des spécifications sur les composants
  - **Le Bureau des méthodes** :
    - Qui traite la géométrie réalisée des pièces
    - Qui maîtrise les processus de fabrication par des cotes de fabrication et de réglage. Il établit si nécessaire des plans de surveillance
  - **Le contrôle** : qui est fortement lié aux possibilités des MMT

Attentes, besoins, interrogations

- Le tolérancement géométrique c'est également un outil de communication entre :

  Les donneurs d'ordres et les sous-traitants

  Aussi bien dans les phases de conception du couple produit-processus

  Que dans les phases de sous-traitance en production

Spécification Géométrique des Produits (GPS)

Elle nécessite de définir 3 modèles géométriques :

1- Géométrie nominale

2- Modélisation du réel

3- Expression des écarts géométriques

Et un langage graphique univoque.

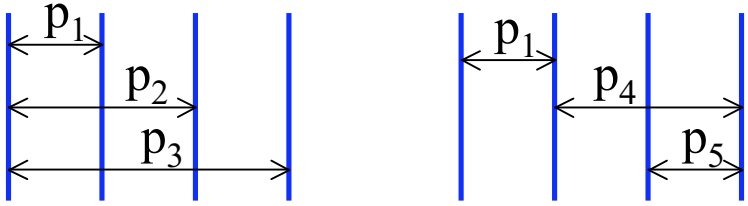
1 - Géométrie nominale

La géométrie nominale permet de définir la forme idéale des pièces.

- Elle suit les règles de définition mathématique des surfaces, des lignes et des points qui sont exprimés dans un repère de définition.

- Le paramètrage géométrique est défini par un nombre minimum de paramètres {Po} nécessaires et suffisants au positionnement des éléments géométriques.

Exemple en 2D (en projection sur un axe)



n traits parallèles

$\frac{n(n-1)}{2}$ paramètres possibles

(n-1) paramètres indépendants

- Tout paramètre inconnu est ensuite déduit de l'ensemble des paramètres {Po}.

La géométrie nominale sert essentiellement

- **À la visualisation sur écran d 'ordinateur**.
- **Aux calculs utiles au dimensionnement** : volume, centre de gravité, surface mouillée, Inertie, maillage, simulation, contraintes, déformations, vibrations, cinématique etc.....
- **À la vérification des assemblages** (maquette numérique)
- **Aux calculs de la trajectoire des outils** réalisant une surface par balayage.
- **À la réalisation de plans** : contours de la pièce projetés dans des plans respectant les règles traditionnelles du dessin technique (vues, coupes, sections).
- **De support à l 'expression du tolérancement** (caractéristiques géométriques)

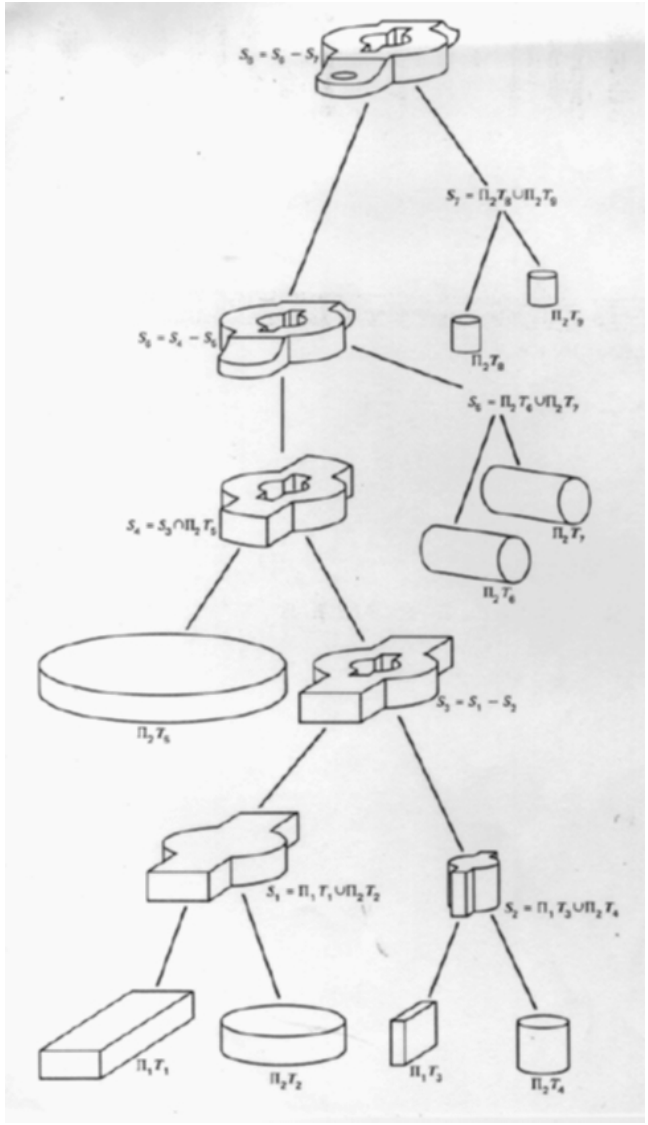
Solutions apportées par les modeleurs géométriques en CAO

- modèles CSG (constructive Solide Geometry)
- modèles B-Rep (Boundary Representation)
- modèles surfaciques (Bézier, B-Splines etc…)
- modèles hybrides CSG/B-Rep
- modèles paramétrés ou variationnels
- modèle SATT (surfaces associées techn. et Topo.)

Modèle CSG (constructive Solide Geometry)

- C'est un assemblage de primitives solides élémentaires (sphère, cône, cylindre, prisme, etc.) sur lesquelles on effectue des opérations booléennes. Ce modèle conservent l'historique de la création des pièces par arbre de construction

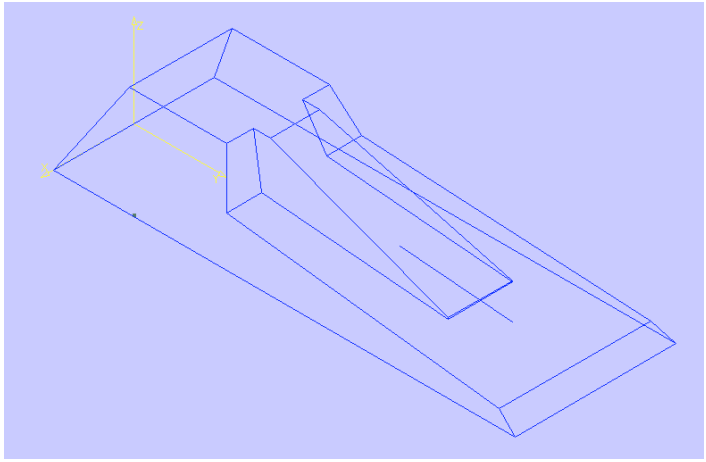
- Principe :
- Solides primitifs + Opérateurs booléens entre les solides primitifs: union, intersection, soustraction, ….



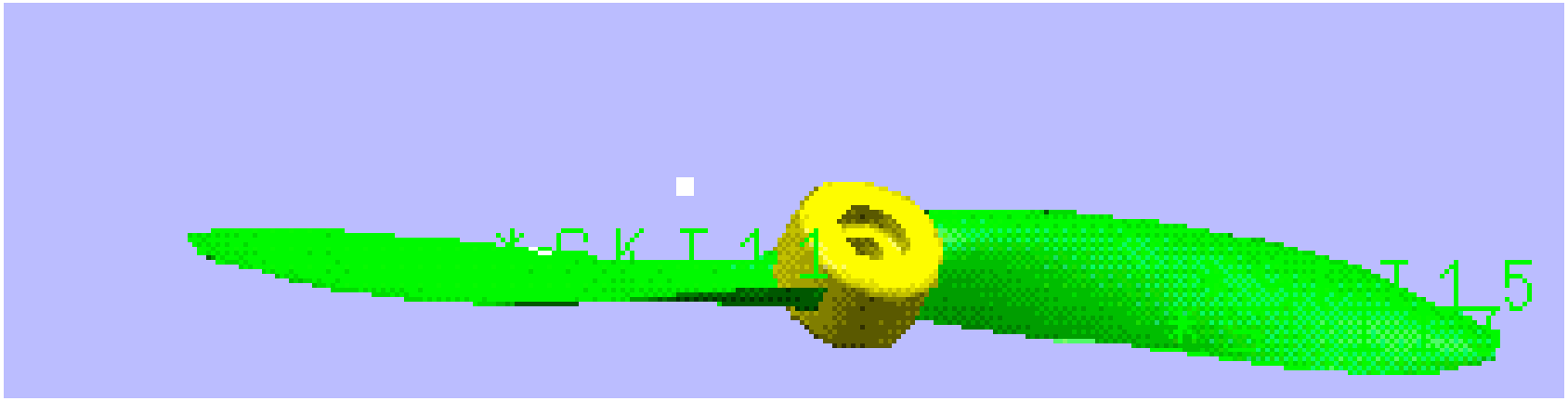
Modèles B-Rep (Boundary Representation)

- Ils contiennent des informations géométriques (coordonnées de points, équation de faces...) et topologiques (sur les arêtes et les orientations...).
- Les modèles filaires fonctionnent suivant ce principe avec comme informations géométriques les coordonnées des sommets, et comme information topologique les arêtes.

- Sommets
- Arêtes
- Faces
- Volumes
- Sens matière



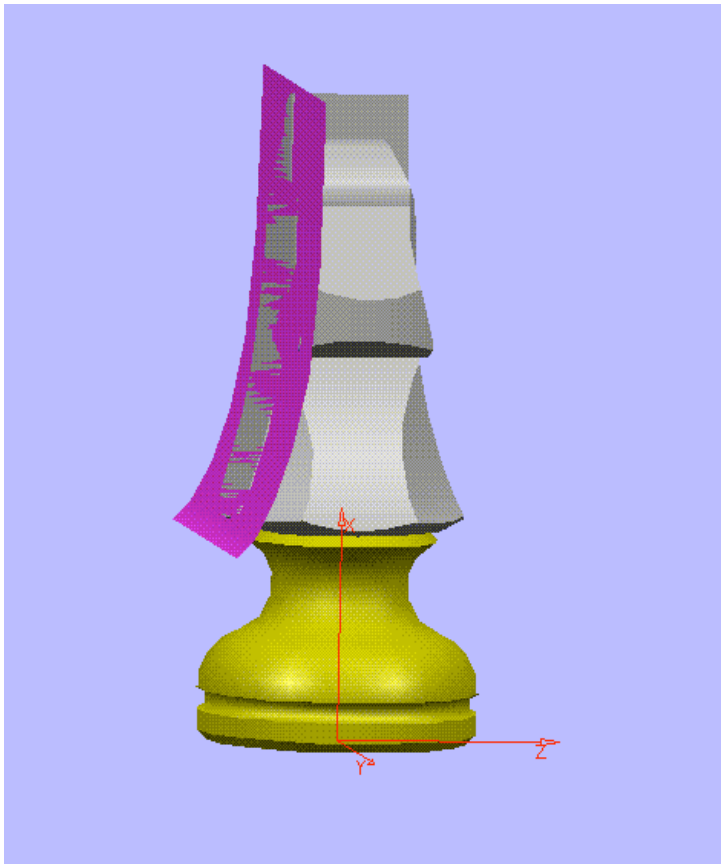
Modèles surfaciques



- Spline - Bezier - B-Spline - Nurbs etc...

Modèles hybrides CSG/B-Rep

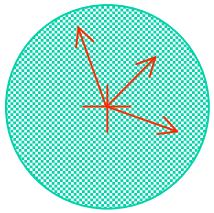
- Solide + surfaces



SATT (CESTI - Dassault Systèmes)

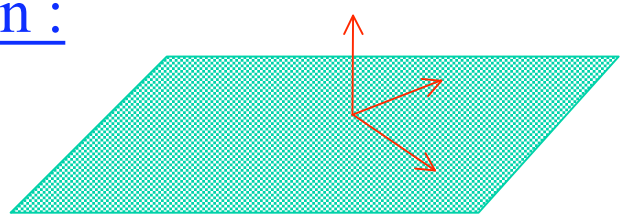
- Il est basé sur la notion de classe d'invariance d'une surface.
- Une classe est définie par les déplacements laissant invariant la surface.

Sphère :



Déplacements :
Trois rotation autour du centre de la sphère

Plan :

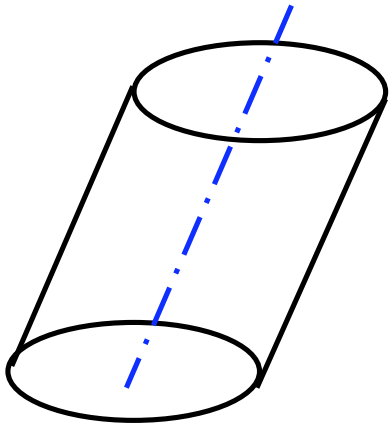


Déplacements :
Deux translations dans le plan
Une rotation autour d 'un axe perpendiculaire au plan

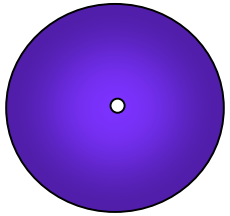
Modèle SATT

- La notion de surface est ici généralisée.
- Un SATT peut-être une surface simple ou composé de plusieurs surfaces.

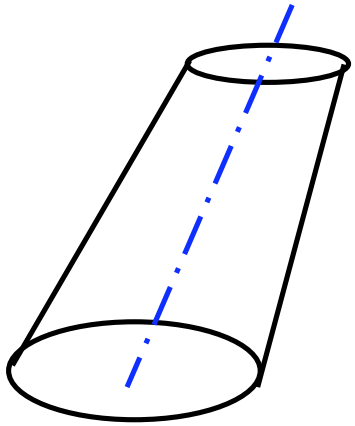
Exemples de surfaces simples :



1rotation, 1 translation
Droite + rayon



3 rotations
Point + rayon

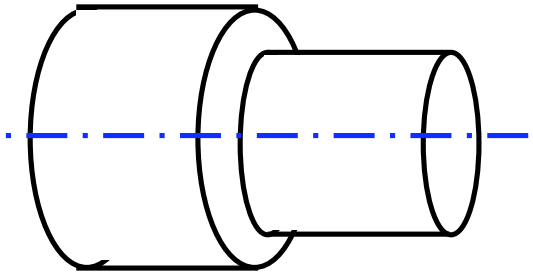


1 rotation
Droite et point + angle

Modèle SATT

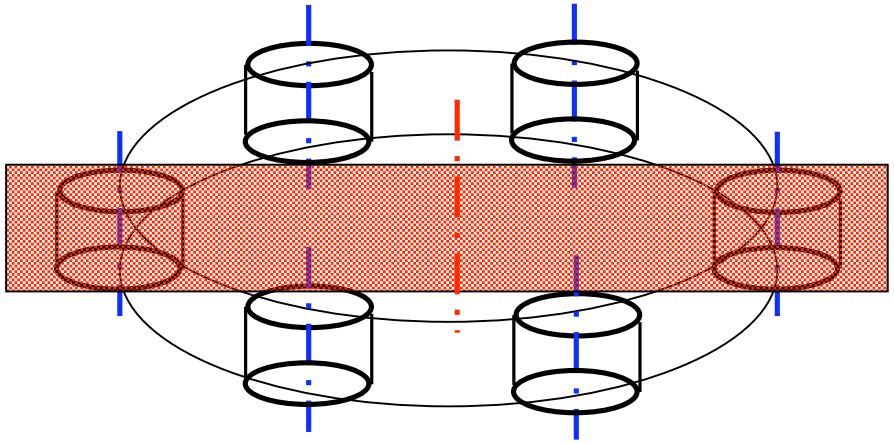
- La notion de surface est ici généralisée.
- Un SATT peut-être une surface simple ou composé de plusieurs surfaces.

Exemples de surfaces simples :



2 cylindres coaxiaux

1 rotation, 1 translation
1 droite + 2 rayons

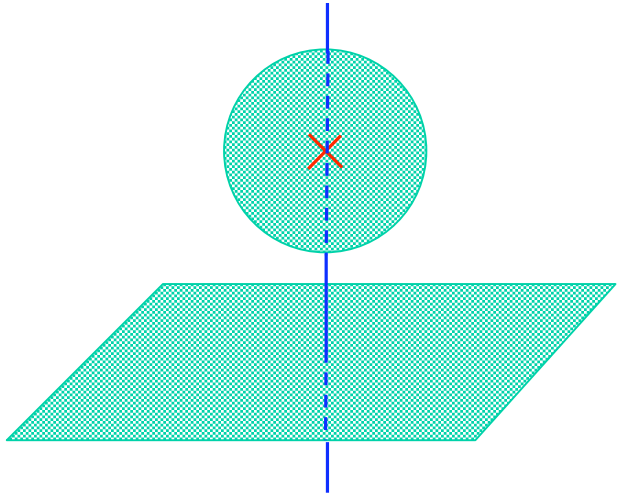


6 cylindres à axes parallèles

1 translation
1 plan et 1 droite + 7 rayons et angles

Exemple : SATT sphère et plan

- Un SATT appartient à une classe d'invariance.
- Une classe est définie par les déplacements laissant invariant la surface.

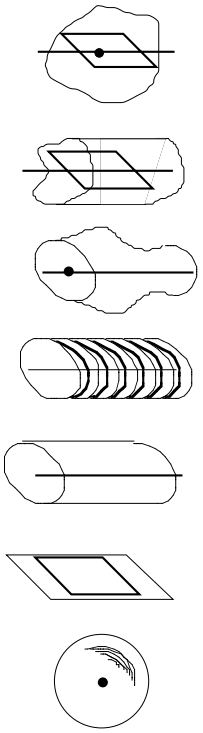


Déplacement :

Une rotation autour d 'une droite passant par le centre de la sphère et perpendiculaire au plan

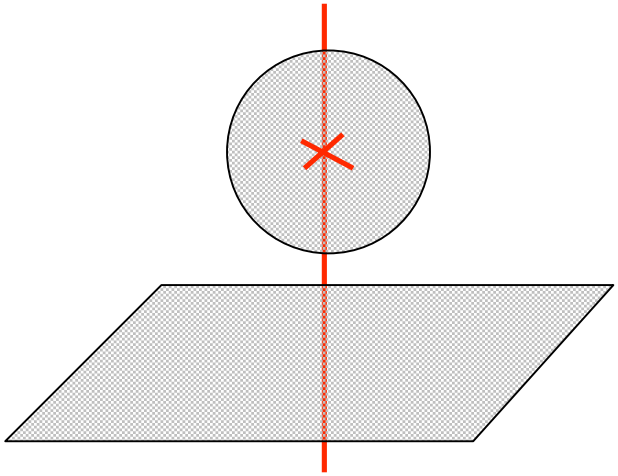
SATT (CESTI - Dassault Système)

- On dénombre ainsi 7 classes de surfaces invariantes :
  - complexes
  - prismatique,
  - de révolution,
  - hélice,
  - cylindrique,
  - plane
  - sphèrique.



SATT (CESTI - Dassault Système)

- Chaque classe de surfaces possède des éléments géométriques de référence minimum (EGRM) composés des éléments point, droite et plan.



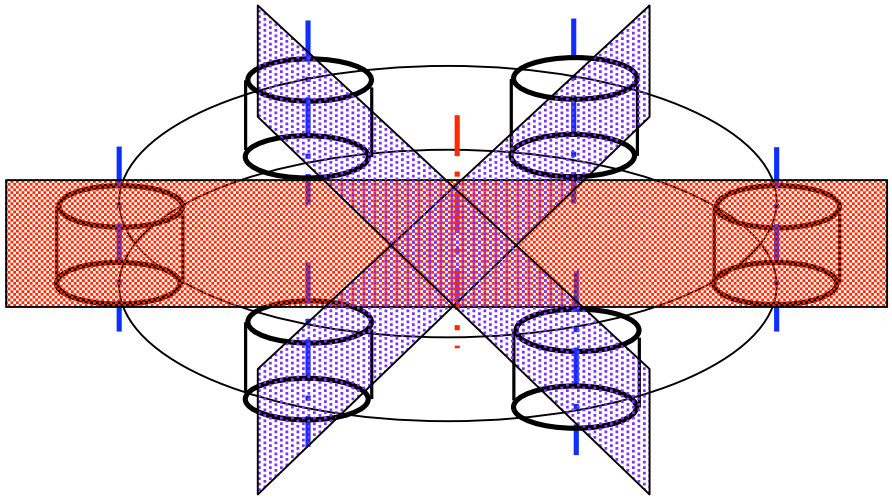
Déplacement :
Une rotation autour d 'une droite passant par le centre de la sphère et perpendiculaire au plan

Classe d 'invariance :
De révolution

EGRM : (référence locale)
Une droite et un point

Eléments de situation : C'est une combinaison d' éléments point droite et plan, appartenant à la même classe de surfaces. L'EGRM est une combinaison d' éléments de situation particuliers.

SATT (CESTI - Dassault Système)



6 cylindres à axes parallèles

Déplacement :
Une translation le long d'une droite d'un plan

Classe d 'invariance :
prismatique

EGRM : (référence locale)
Une droite d'un plan

Eléments de situation : Exemple Trois plans sécants à 60°

Tableau des 7 classes d 'invariance

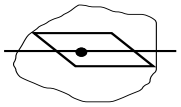
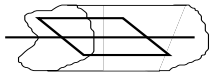
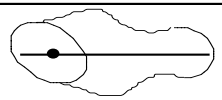
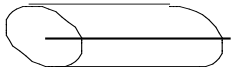
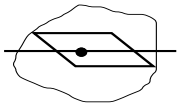
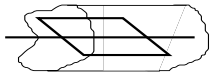
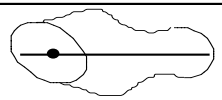
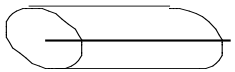
Illustration	Classe d'invariance	Degré d'invariance	Éléments de réf. minimum (EGRM)	Torseur de Petits déplacements
	complexe			
	prismatique			
	révolution			
	hélicoïdale			
	cylindrique			
	plane			
	sphérique			

Tableau des classes d 'invariance

Illustration	Classe d'invariance	Degré d'invariance		Éléments de réf. minimum (EGRM)	Torseur de Petits déplacements
	complexe	0	aucun	Plan, droite, point	
	prismatique	1	une translation le long d 'une droite d 'un plan	Plan, droite	
	révolution	1	une rotation autour droite pointée	Droite, point	
	hélicoïdale	1	une trans. et une rotation liées	Droite orientée	
	cylindrique	2	une trans. et une rotation autour d 'une droite	Droite	
	plane	3	une rotation perp au plan et 2 trans le long de 2 droites du plan	Plan	
	sphérique	3	Trois rotations autour d 'un point	Point	

SATT (CESTI - Dassault Système)

- 7 classes de surfaces invariantes
- La combinaison de 2 classes donne une classe.

Exemple pour 2 surfaces de la classe cylindrique :

axes en position quelconque -> Classe complexe
axes parallèles -> Classe prismatique
axes confondus -> Classe cylindrique

SATT (CESTI - Dassault Système)

- 7 classes de surfaces invariantes
- Combinaison de 2 classes -> classe
- Le positionnement relatif de deux SATT est défini par 13 contraintes entre les éléments de situation (point droite plan) des deux classes

Ces 3 propriétés permettent de définir le paramétrage 3D d 'une géométrie nominale décrite par des SATT

caractéristiques

entre les 3 éléments de situation (pt, droite, plan) pris deux à deux

6 distances :

point - point point - droite point - plan

droite - droite (non copl. ou //) droite - plan (//) plan - plan (//)

et 3 angles :

droite - droite droite - plan plan - plan

Notion de déclaration. Exemple : distance entre 2 plans parallèles

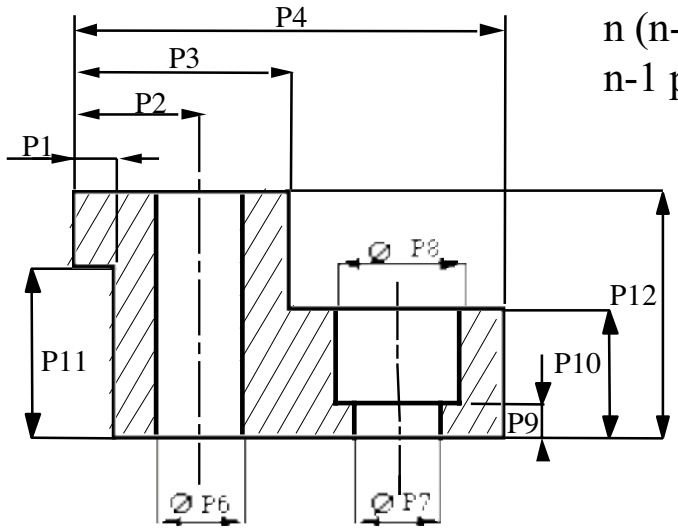
Si les 2 plans ne sont pas parallèles la caractéristique est un angle

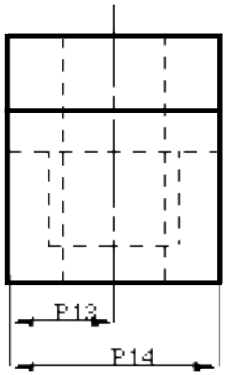
13 contraintes entre point-plan-droite	Classe
C1 : Point - point, coïncidents	sphérique
C2 : Point - point, distance (≠ 0)	révolution
C3 : Point - plan, distance	révolution
C4 : Point - droite, coïncident	révolution
C5 : Point - droite, distance (≠ 0)	complexe
C6 : Plan - plan parallèles, distance	plane
C7 : Plan - plan, angle (≠0)	prismatique
C8 : Plan - droite, perpendiculaires	révolution
C9 : Plan - droite parallèles, distance	prismatique
C10 : Plan - droite, angle (≠0° ≠90°)	complexe
C11 : Droite - droite, coïncidentes	cylindrique
C12 : Droite - droite parallèles, distance (≠0)	prismatique
C13 : Droite - droite, angle (≠0)	complexe

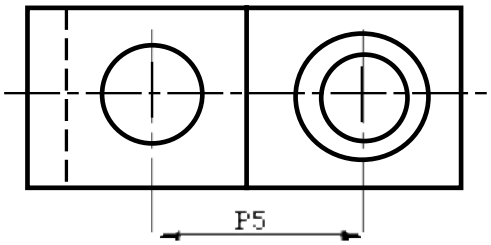
Tolérancement ?

Paramètres géométriques (exemple 1D)

n : nombre de traits parallèles
n (n-1)/2 paramètres possibles
n-1 paramètres nécessaires



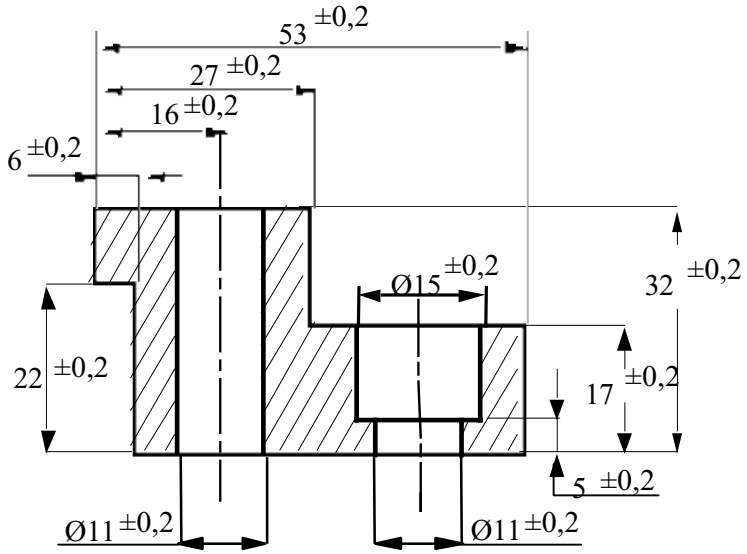




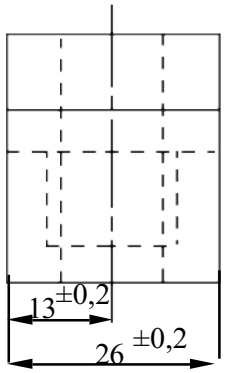
Tableur

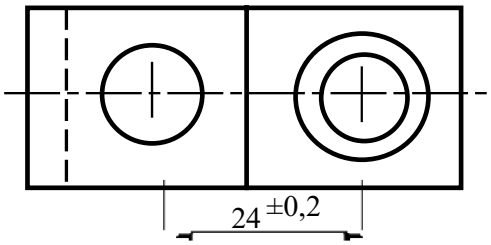
P1	5		P8	15
P2	16		P9	5
P3	27		P10	17
P4	24		P11	22
P5	53		P12	32
P6	11		P13	13
P7	11		P14	26

Tolérancement ?
des paramètres géométriques



Tolérance générale : ± 0,2

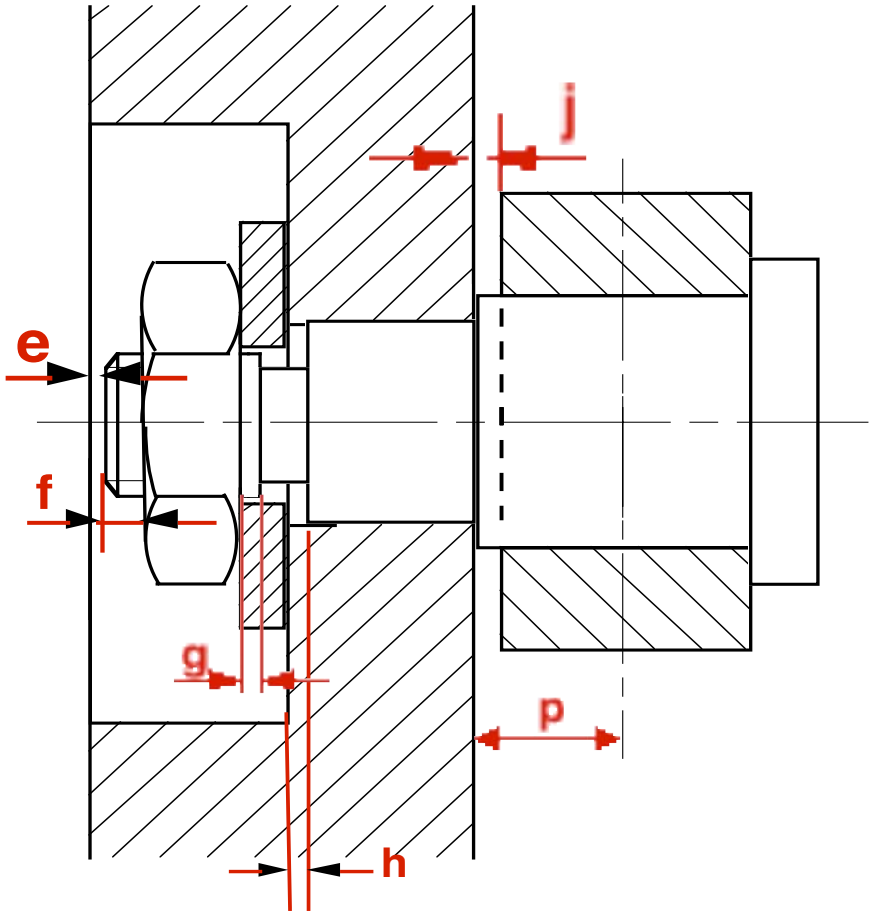




Tableur					
P1	5		P8	15	
P2	16		P9	5	
P3	27		P10	17	
P4	24		P11	22	
P5	53		P12	32	
P6	11		P13	13	
P7	11		P14	26	

Tolérancement ? Chaîne de cotes 1D

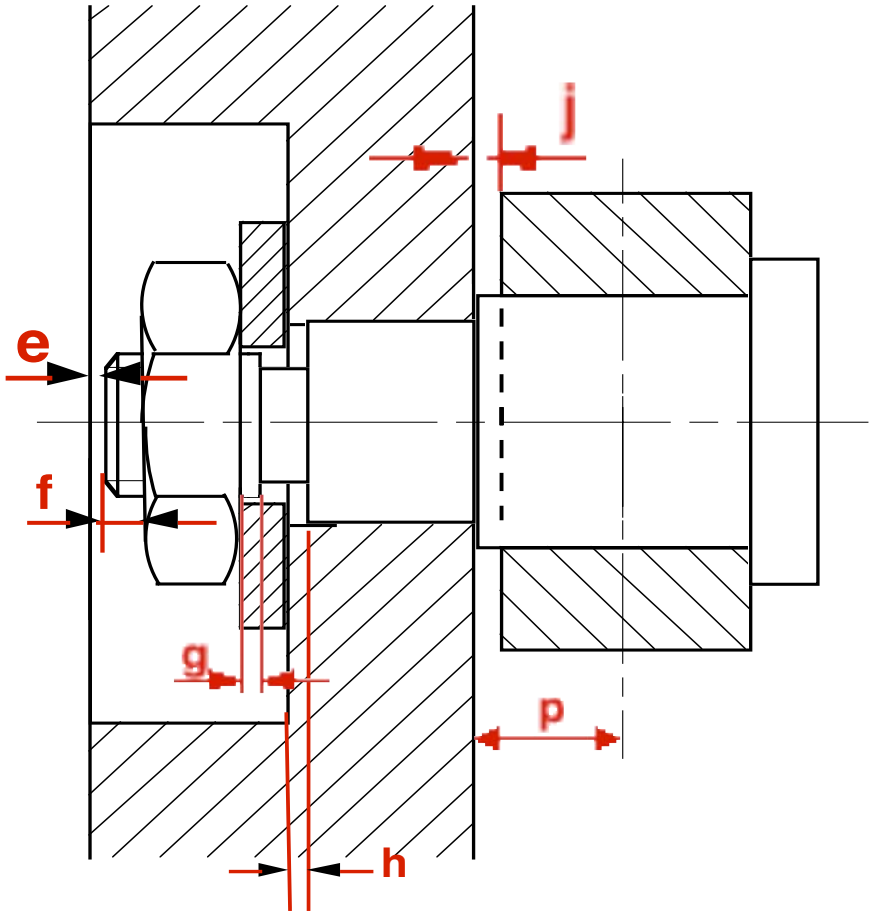
Dimensionnement fonctionnel :



Géométrie nominale (Avant projet)

- Jeux
- Débattement
- Serrage
- Longueur filetée
- Montage
- Etc...

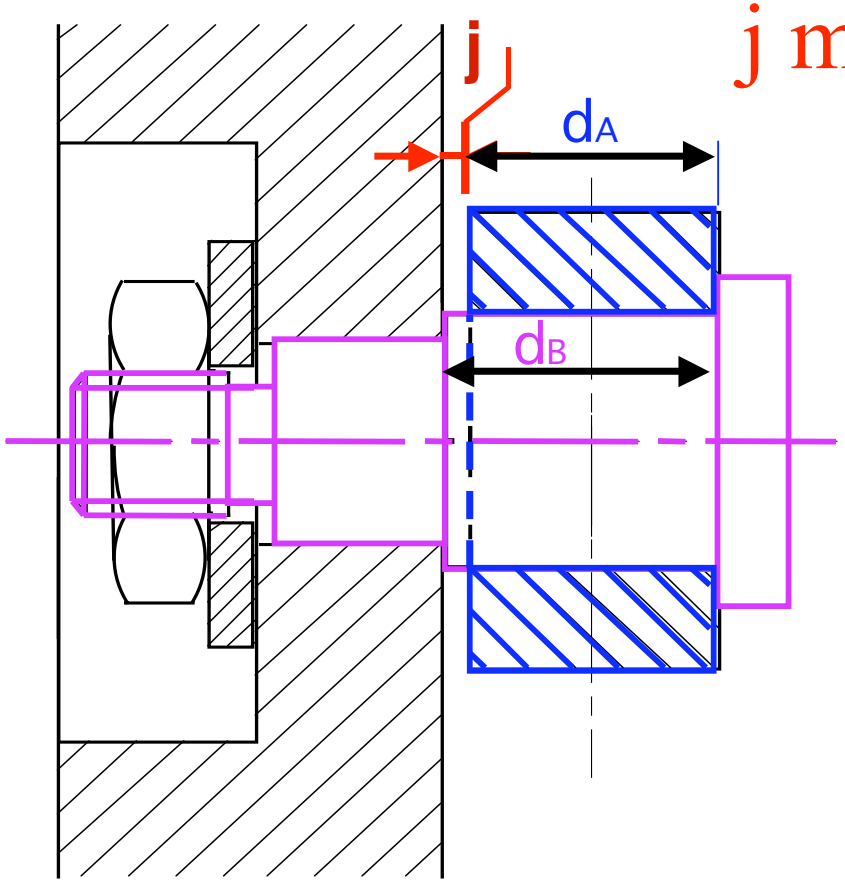
Contraintes géométriques fonctionnelles



Géométrie nominale (Avant projet)

- j mini
- p ± Δp
- h mini
- g mini et f mini
- E mini
- Etc...

Chaîne de cotes 1D



Géométrie nominale (Avant projet)

$$j_{mini} = d_{B\,mini} - d_{A\,maxi}$$

- Le modèle ne prend en compte que les variations des paramètres de la géométrie nominale.

(pas de défauts de forme et d 'orientation)

Outil : Chaines de cotes (1D)

- Permet pour chaque phase de fonctionnement du mécanisme et chaque condition fonctionnelle
  - De définir sur chaque pièce les paramètres et les surfaces liès à la condition fonctionnelle (deux surfaces ou groupe de surfaces au maximum par pièce).
  - De calculer une répartition des « tolérances » prenant en compte les variations des paramètres des pièces avec leurs défauts.

- Il faut ensuite spécifier une géométrie (3D) avec défauts

Le Tolérancement

- Moyen de maîtriser la géométrie réalisée en vu de garantir la satisfaction du client
  - Coût - Qualité - Délais
  - Traduction géométrique des fonctionnalités d 'un mécanisme
- Support de communication dans l 'entreprise et entre les différents acteurs :

  Conception - Fabrication - Contrôle

Spécifier une Géométrie avec défauts (Tolérancement)

Elle s 'appuie sur :

- Une géométrie nominale
- Une modélisation du « réel »
- Une limitation des variations du réel par le Tolérancement
  - Solution normalisée ISO (GPS)
    - tolérancement dimensionnel (limite un écart)
    - tolérancement géométrique :

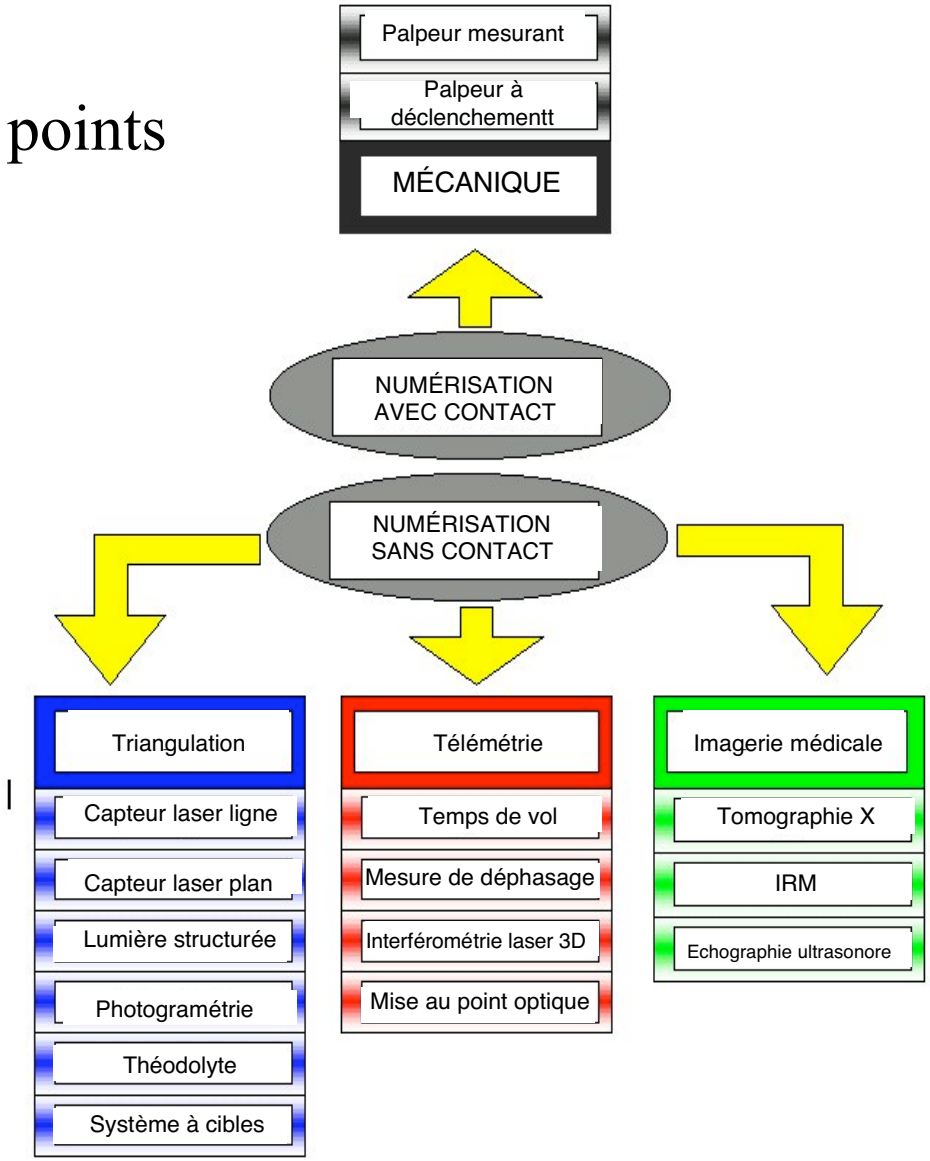
      sans modificateurs (par zones de tolérance)

      avec modificateurs (par calibres)
  - Solution par le torseur de petits déplacements :
    - torseur d 'écart (domaines de tolérance)

2 - Modélisation du « réel »

Réel : interface matière - environnement

- 1ère modélisation :
  nombre infini de points (skin modèle)
- 2 ème modélisation :
  nombre fini de points (coordonnées obtenues par un capteur avec une incertitude sur chaque point)
  - Partitionnement des points, notion de frontière
- 3 ème modèlisation :
  lissage des paquets de points par des modèles géométriques théoriquement exacts (éléments de substitution)

Capteurs : technologie de numérisation 3D

Nombre fini de points