

La simulation du comportement des produits industriels

2017-2018



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Pourquoi simuler ?



Simuler ...

anticiper

L'objet de la simulation est d'ANTICIPER le comportement d'un produit

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

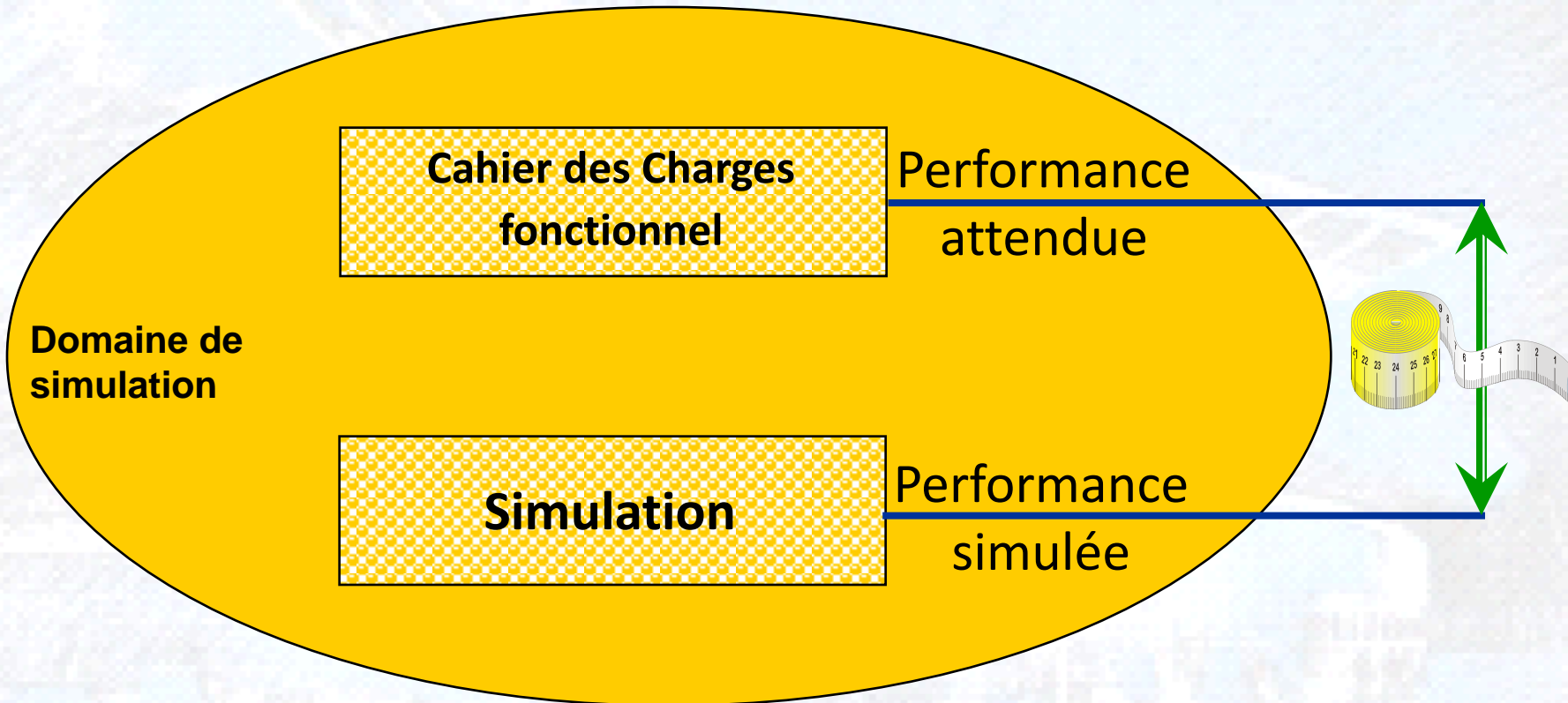
Diagnostiquer un écart

Exemples de simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Performance attendue et simulée

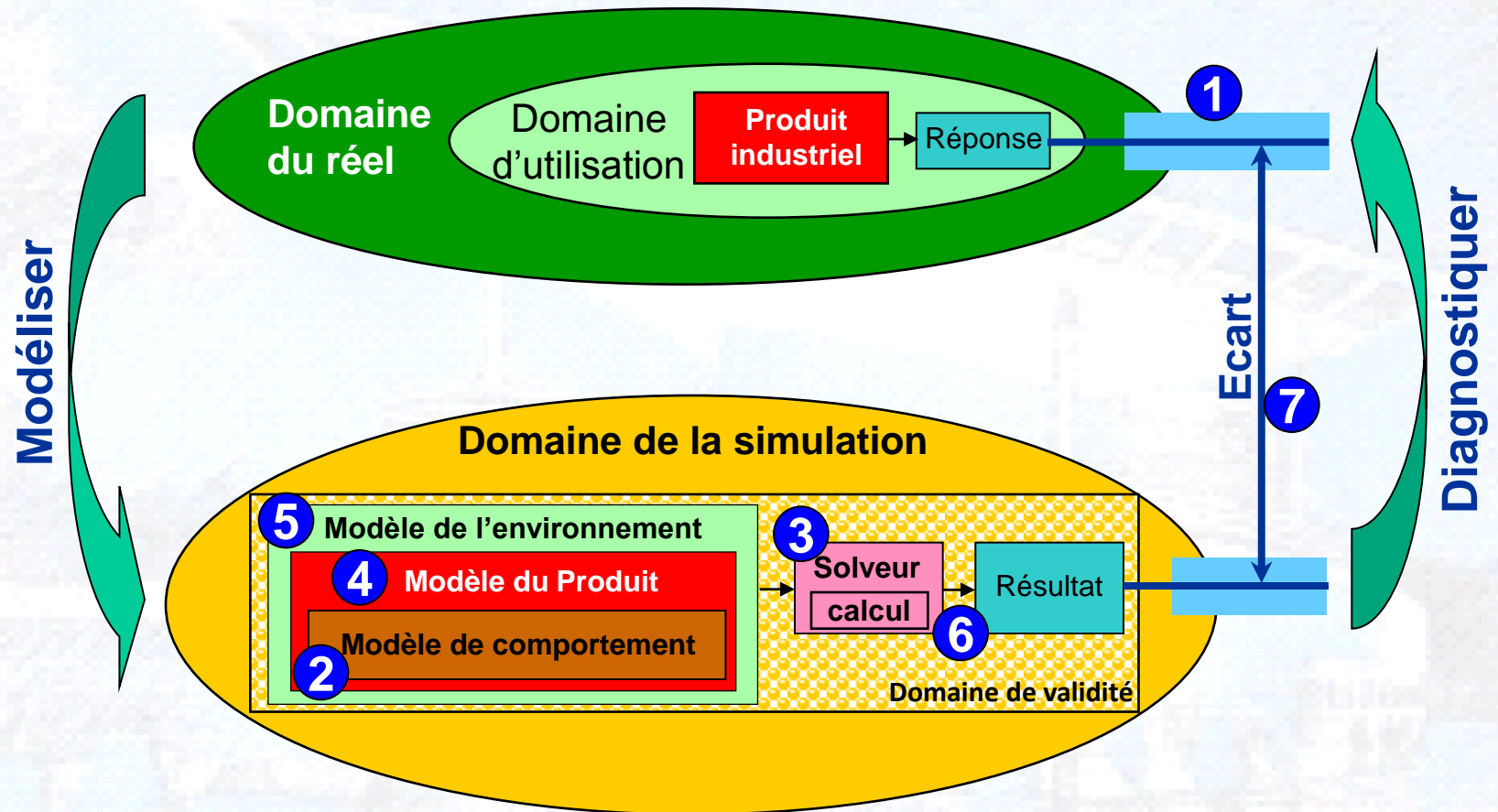


La simulation permet de valider des critères de Fonctions de Service



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Démarche de simulation



La démarche de simulation est une méthode qui se décompose en 7 étapes



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

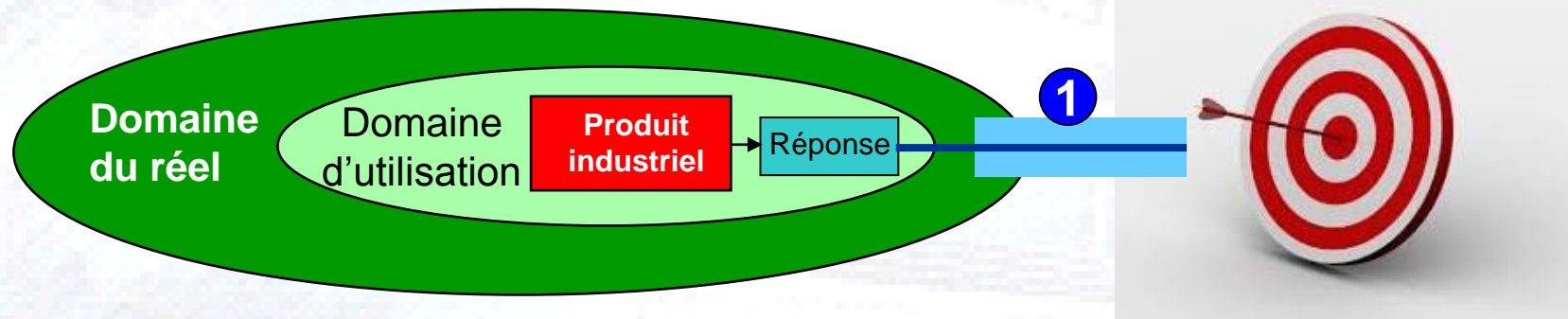
Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemples de simulation

1 : S'approprier l'objectif

La modélisation d'un produit industriel est un **problème non déterministe** : il existe plusieurs modélisations pertinentes qui répondent à des choix différents.



Le choix du modèle de comportement utilisé, le choix des grandeurs calculées, la modélisation du produit, ... sont **pilotés par l'objectif** de l'étude.

Cette démarche est inductive, c'est-à-dire pilotée par l'objectif

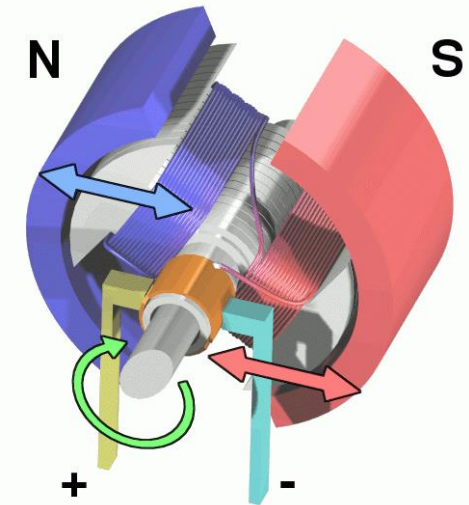


LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Moteur à courant continu

Produit étudié :

Moteur à courant continu



Objectif :

Valider que son temps de réponse à 5% (à vide) est inférieur à 0,5s.

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

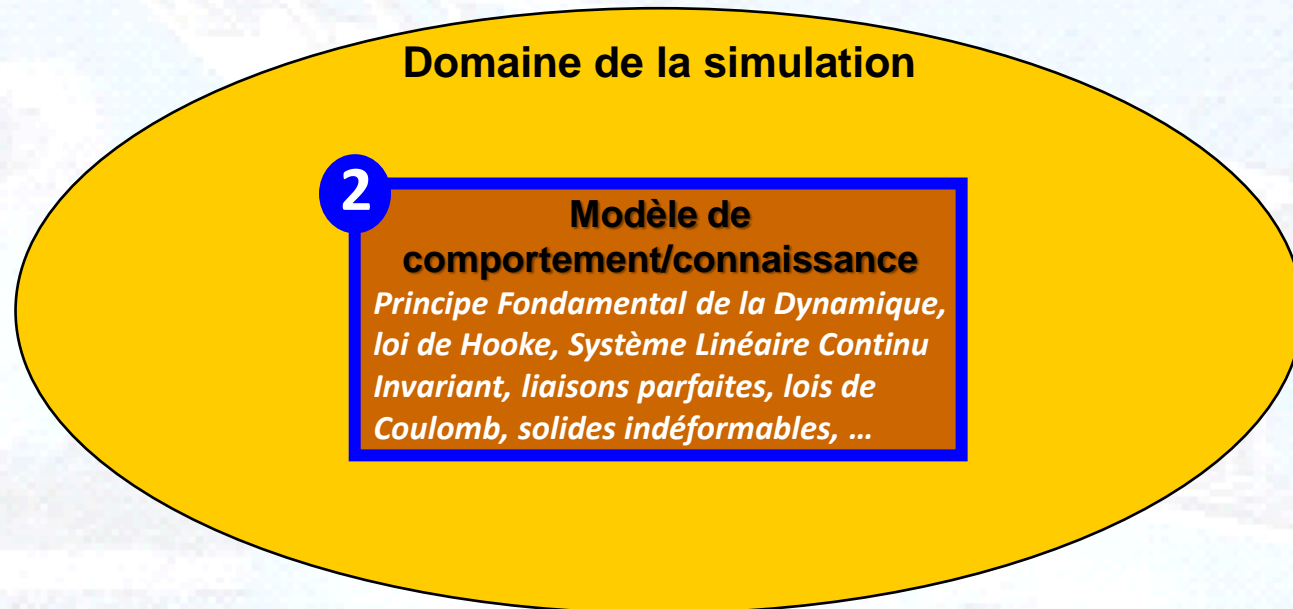
Exemple de simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

2 : Choisir le modèle de comportement

Modéliser les phénomènes physiques mis en œuvre dans le comportement du produit.



Le modèle est dit
ou

de comportement s'il est issu d'expérimentation
de connaissance s'il est démontré par une théorie.

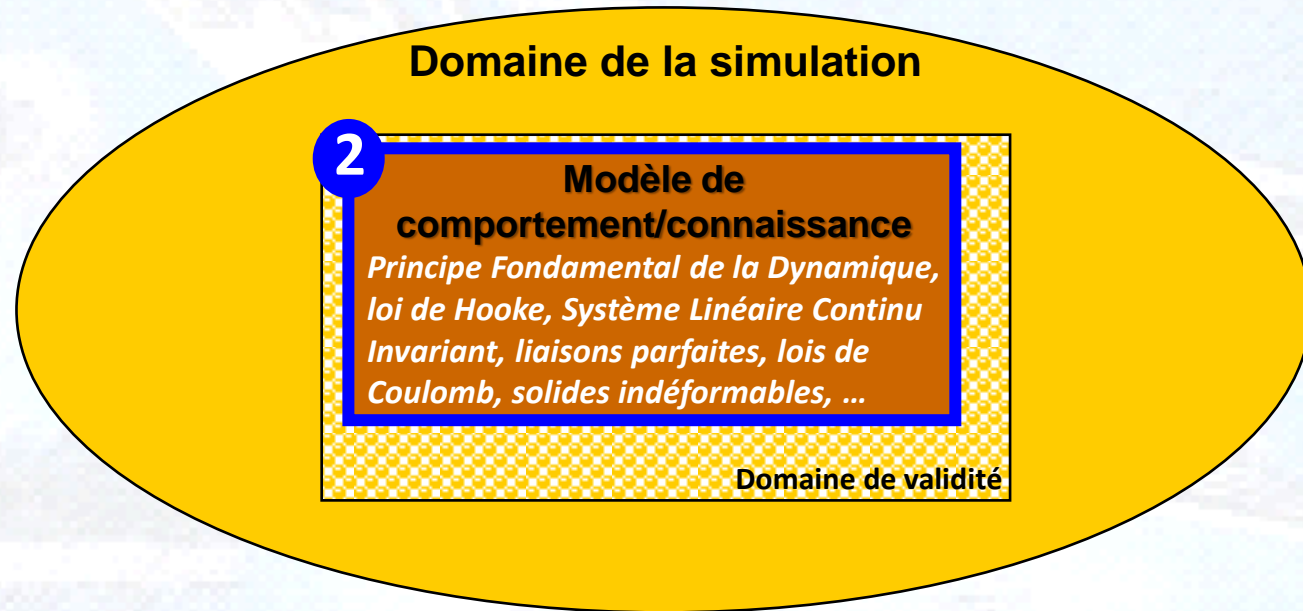
Choisir les modèles de comportement/connaissance utilisés pour la simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

2 : Choisir le modèle de comportement

Le modèle est formalisé par une relation mathématique



Les grandeurs physiques sont représentées par des objets mathématiques sous certaines hypothèses, conditions, limitations, ...

Les hypothèses, les limitations, ... participent au domaine de validité du modèle

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemples de simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Domaine de la simulation

2

Modèle de comportement ou de connaissance

Principe Fondamental de la Dynamique

L'accélération angulaire galiléenne est proportionnelle à la somme des moments et inversement proportionnelle au moment d'inertie

Loi de Lenz

courant induit proportionnel au champ statorique et à la vitesse

Loi d'Ohm

La tension aux bornes d'une résistance est proportionnelle à l'intensité

Liaison parfaite

Solides indéformables, liaison sans jeu et sans frottement

SLCI

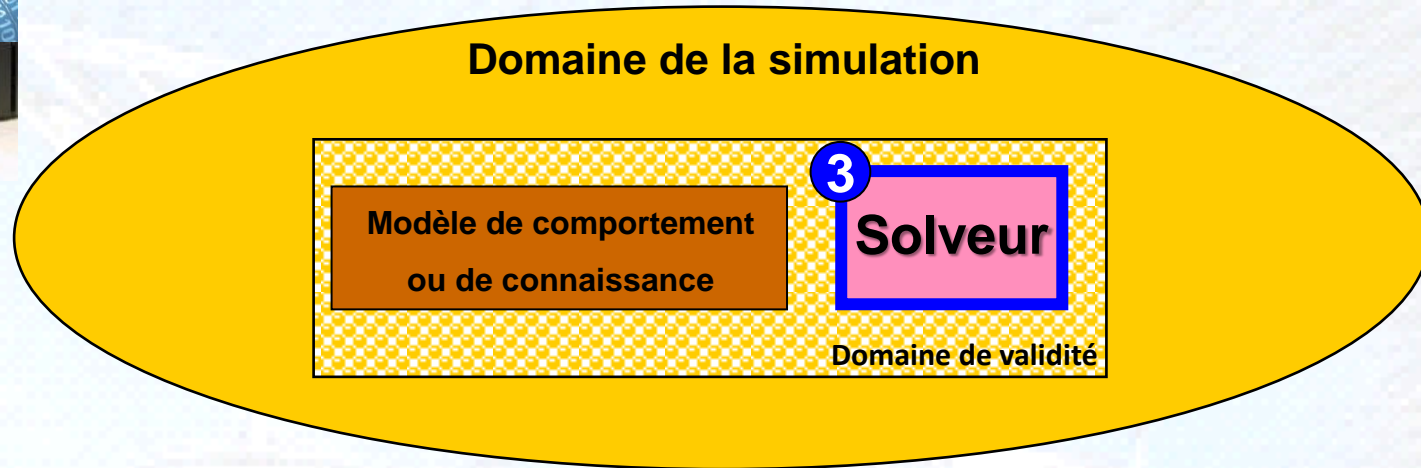
Système Linéaire Continu Invariant

Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

3 : Choisir le solveur



Les critères de choix peuvent être :

- Le temps de calcul,
- La précision du résultat,
- La compatibilité avec les modèles,
- L'exploitation des résultats,
- ...

Choisir la méthode et l'outil permettant la résolution mathématique des équations

Objectifs de la
simulation

Méthodologie
en 7 étapes

Domaine de
validité

Représentativité
des résultats

Mesurer pour
progresser

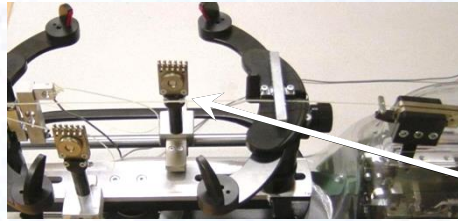
Diagnostiquer
un écart

Exemples de
simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

3 : Choisir le solveur



Déformation de la pince avec une tension de 300N

Domaine de la simulation

Modèle du Produit :

poutre

Modèle de connaissance

Loi de Hooke
 $\sigma = E \cdot \varepsilon$



Solveur



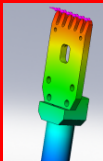
Domaine de validité

Modèle du Produit :

maillage hexaèdre

Modèle de connaissance

Loi élastique
isotrope linéaire



Solveur



Domaine de validité

Les choix du solveur et des modèles sont interdépendants mais cohérents



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

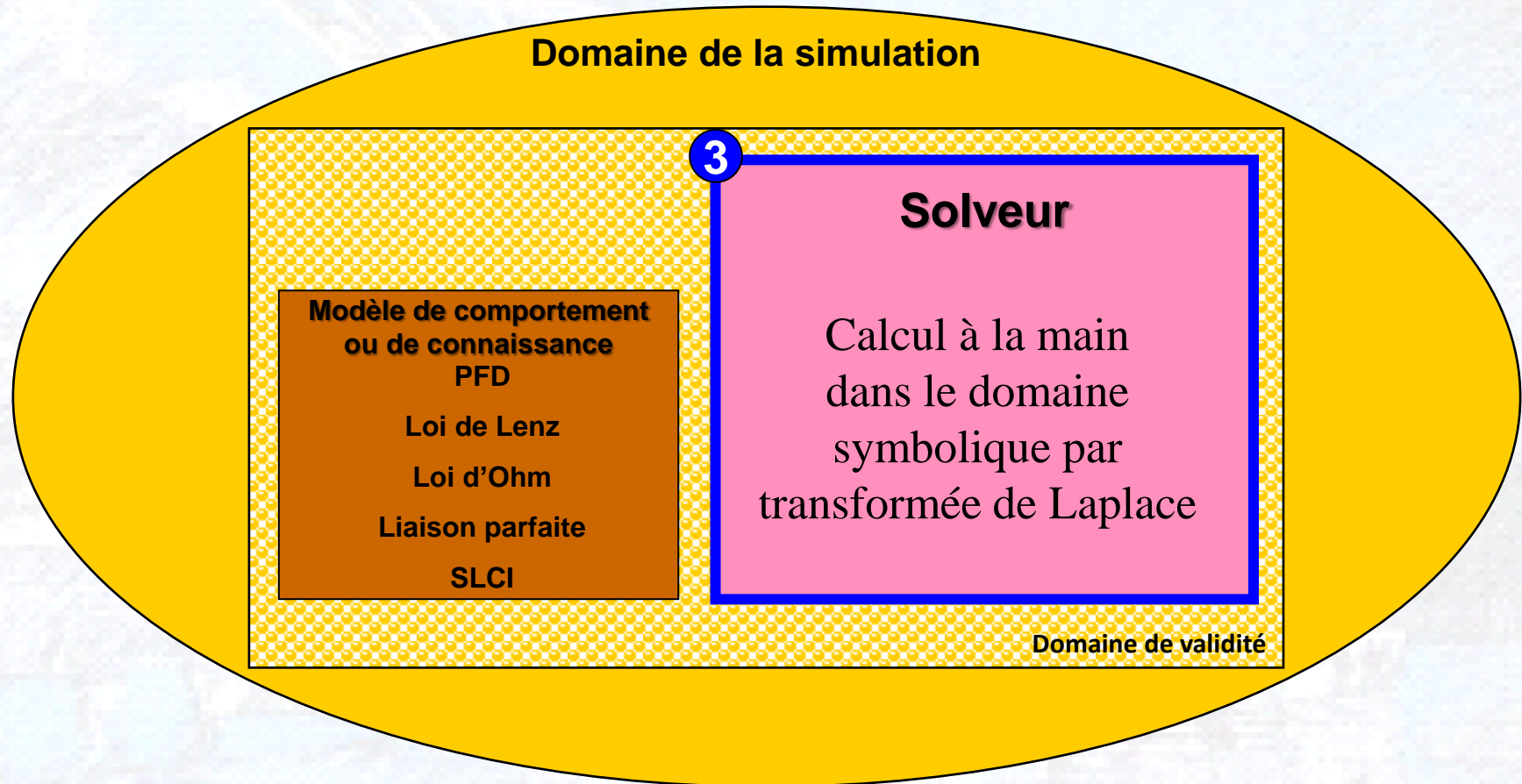
Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

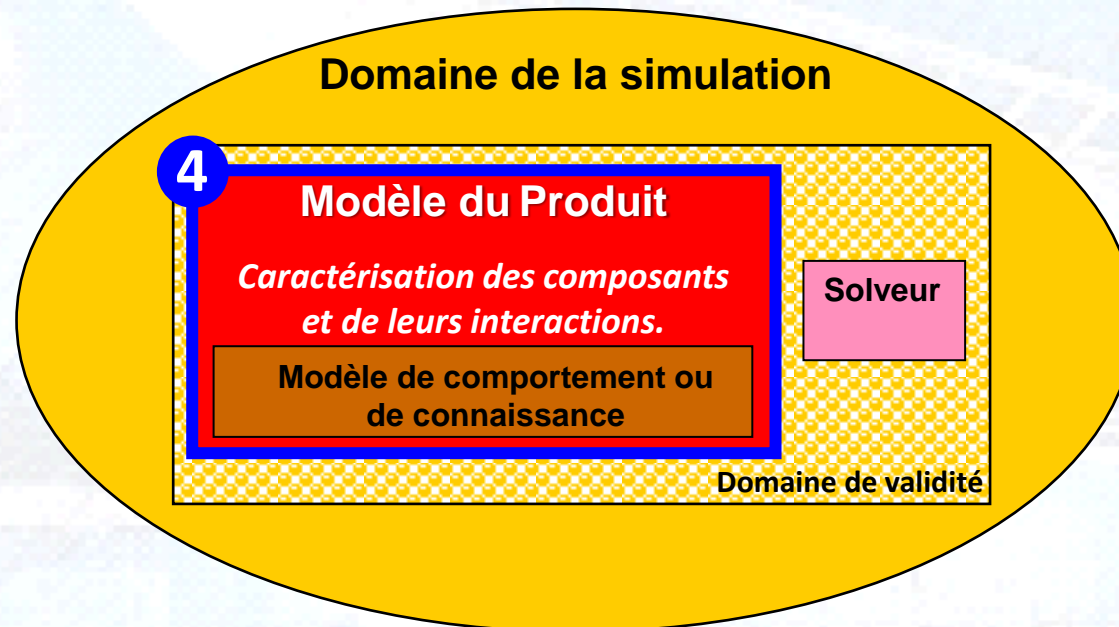




LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

4 : Modéliser le produit

Le produit est abordé comme un **ensemble de composants en interaction**, le choix des composants est déterminant et donc piloté par l'objectif de la simulation.



Les modèles de comportement/connaissance traduisent des relations entre les caractéristiques des composants et de leurs interactions.

Modéliser le produit nécessite de caractériser les composants et leurs interactions

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemples de simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

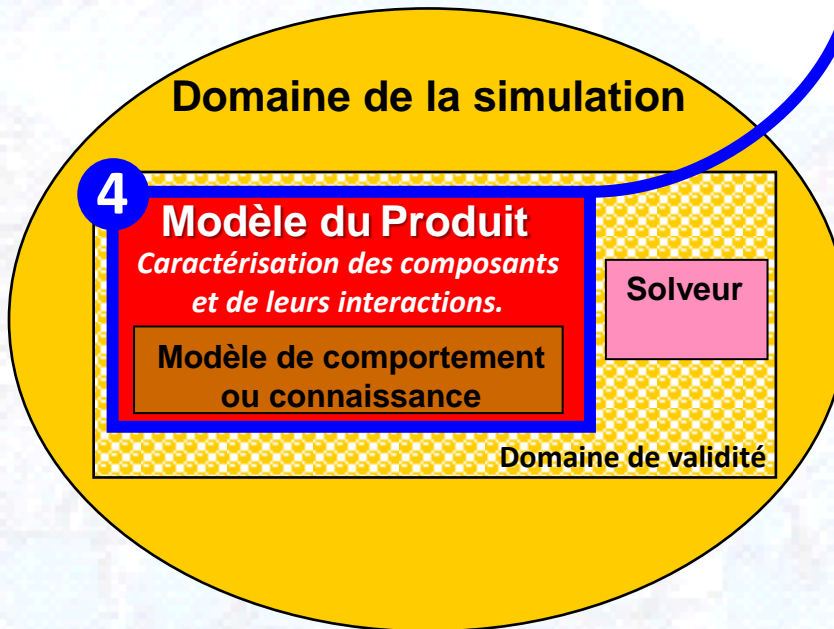
Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

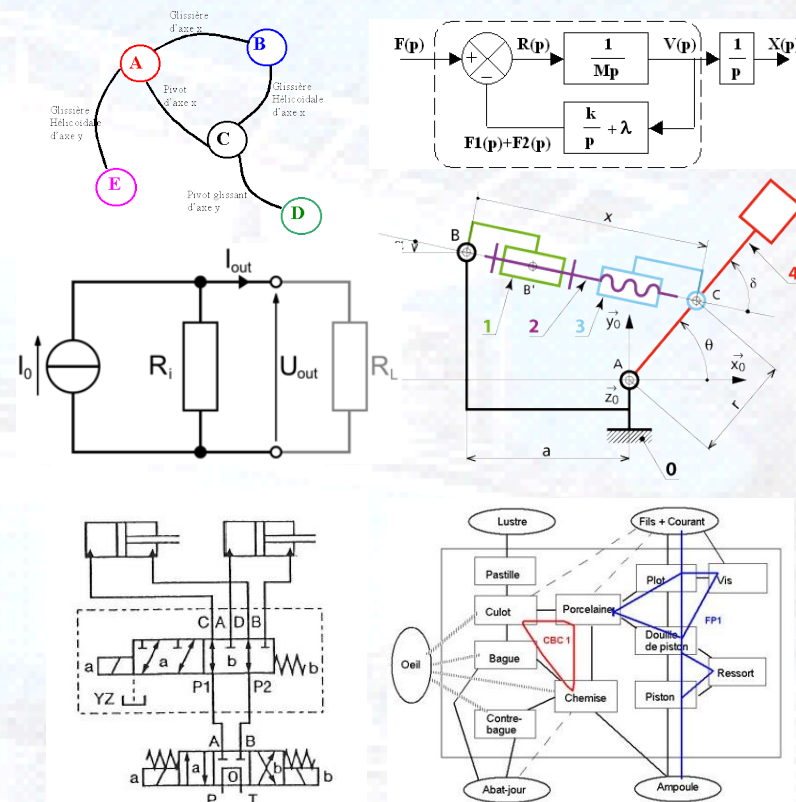
Exemples de simulation

La modélisation du produit requière l'utilisation d'outil de communication schématique dédié.



4 : Modéliser le produit

Schématique associée au modèle du produit



Modéliser le produit sous la forme requise par {solveur - modèle de comportement}



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

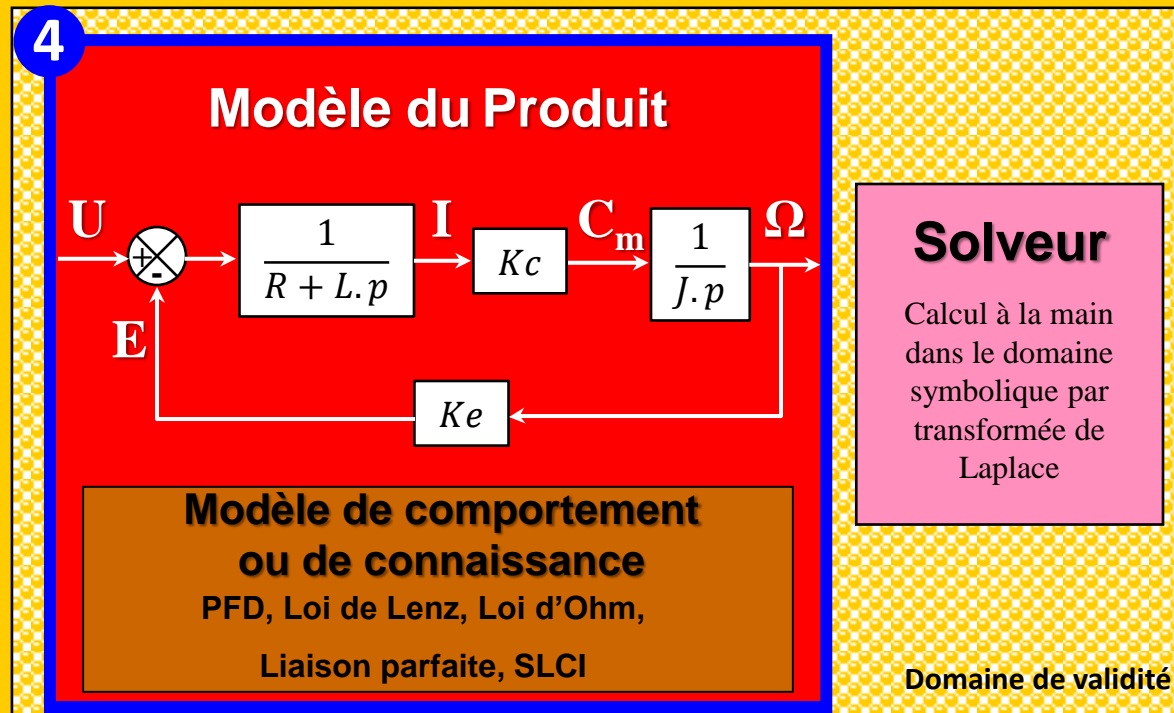
Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Domaine de la simulation

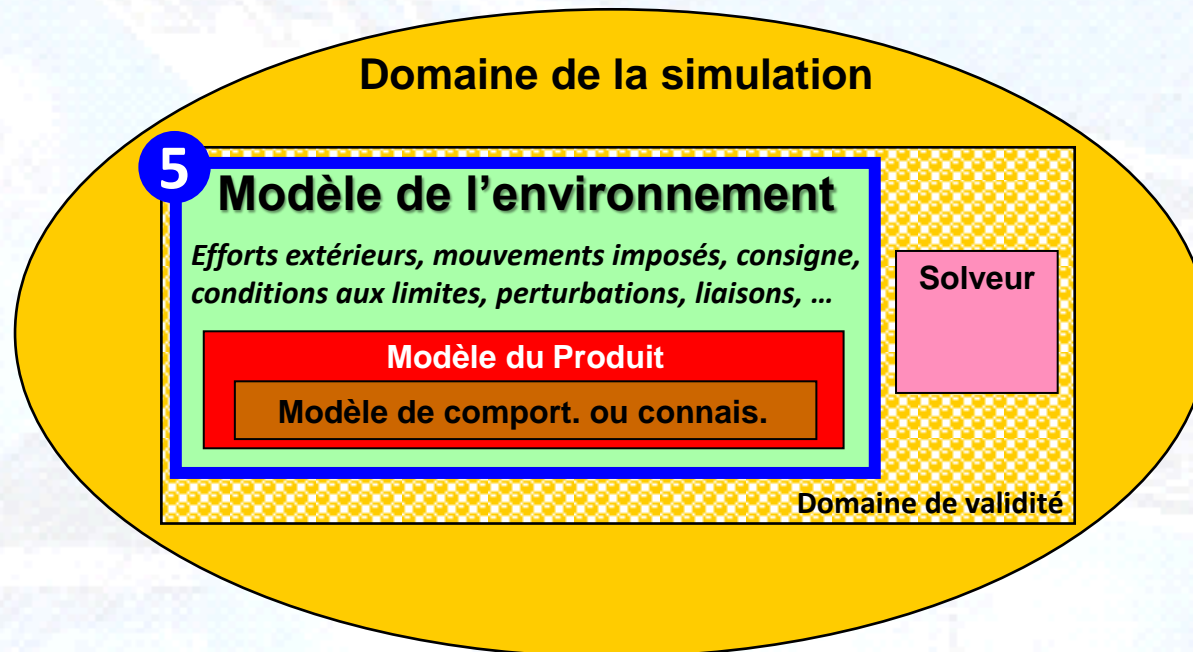




LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

5 : Modéliser l'environnement

La simulation est faite dans une phase du cycle de vie identifiée.



A partir des limites du produit, il est nécessaire de caractériser les interactions du produit avec ses EME.

Modéliser les interactions du produit avec les Éléments du Milieu Extérieur

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemples de simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

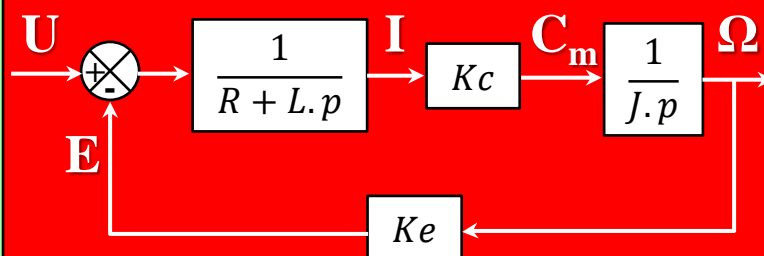
Domaine de la simulation

5

Modèle de l'environnement

Tension d'alimentation : échelon de 25 V
Effort extérieur : aucun

Modèle du Produit



Modèle de comport. ou connais.

PFD, Loi de Lenz, Loi d'Ohm,
Liaison parfaite, SLCI

Solveur

Calcul à la main
dans le domaine
symbolique par
transformée de
Laplace

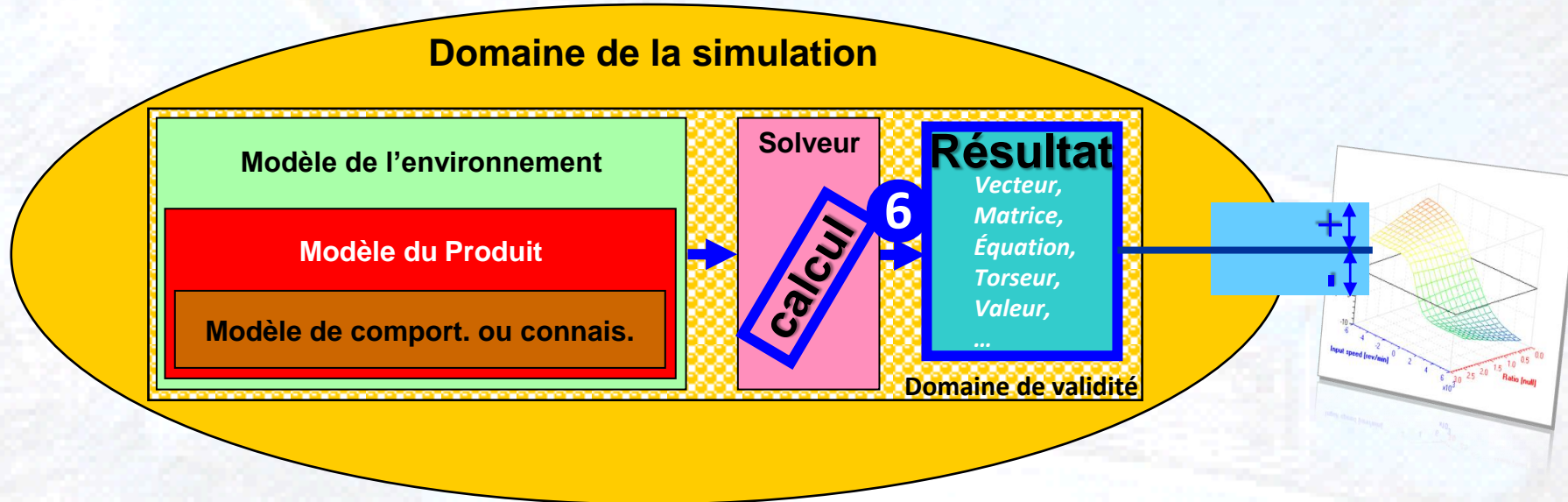
Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

6 : Obtenir le résultat

A partir de la modélisation, le solveur réalise le calcul.



- Pour obtenir le résultat :
- 1- Construire le problème mathématique,
 - 2- Calculer la solution mathématique,
 - 3- Extraire et mettre en forme le résultat.

Résoudre le problème mathématique puis en extraire le résultat de la simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

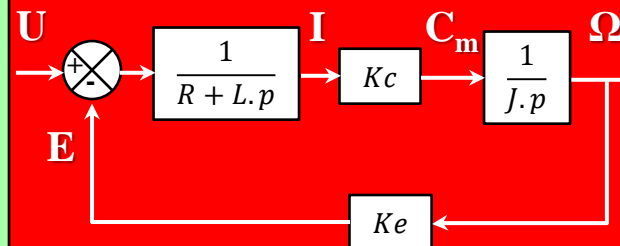
Exemple de simulation

Domaine de la simulation

Modèle de l'environnement

Tension : échelon de 25 V
Effort extérieur : aucun

Modèle du Produit



Modèle de comport. ou connais.

PFD, Loi de Lenz, Loi d'Ohm,
Liaison parfaite, SLCI

Solveur

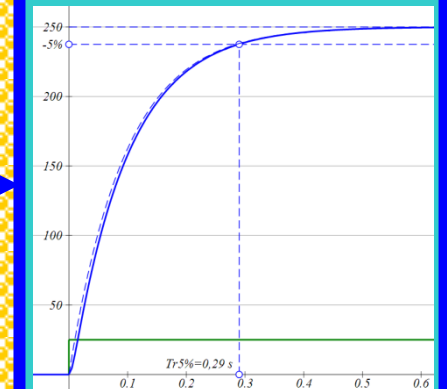
Calcul à la main dans le domaine symbolique par transformée de Laplace

calcul

6

Résultat

$$\Omega(p) = \frac{K_c}{K_c \cdot K_e + (r + L \cdot p) \cdot J \cdot p} \cdot \frac{25}{p}$$



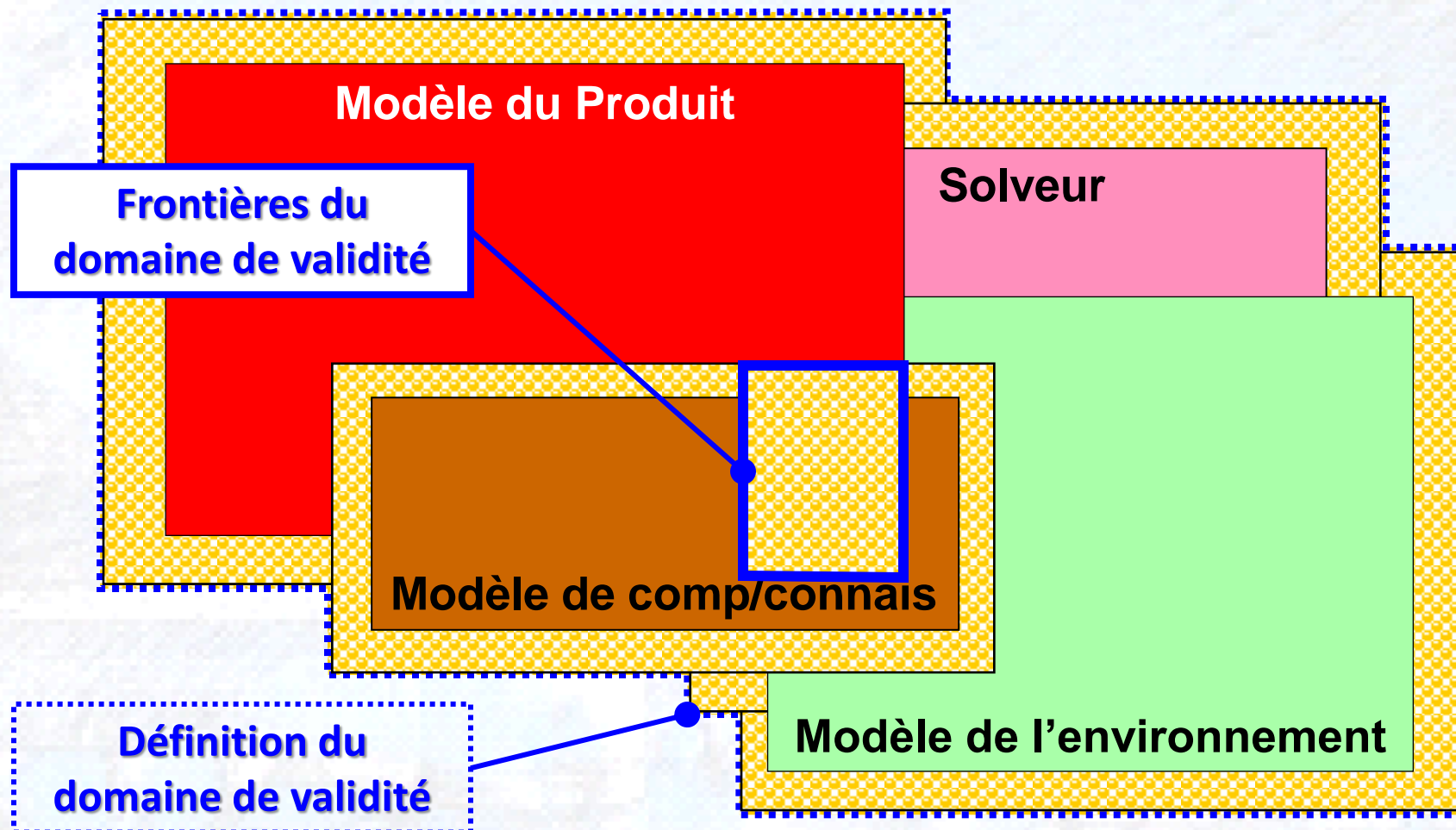
$$t_{r5\%} = 0,29 \text{ s}$$

Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Domaine de validité d'une modélisation



Le domaine de validité est l'intersection du domaine de chaque modèle



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Modèle de comp/connaiss.

Système linéaire

Variables continues

Caractéristiques invariantes

Aucun jeu

Pas de frottement

Géométrie parfaite

Solides indéformables

Solveur

Système causal donc partie entière nulle dans la décomposition en éléments simples

Modèle du Produit

Repère du laboratoire supposé galiléen

Pas de phénomènes couplés

Modèle de l'environnement

Passage de 0 à 25V en un temps nul

Tension constante égale à 25V

Aucune perturbation

Domaine de validité

Domaine de validité

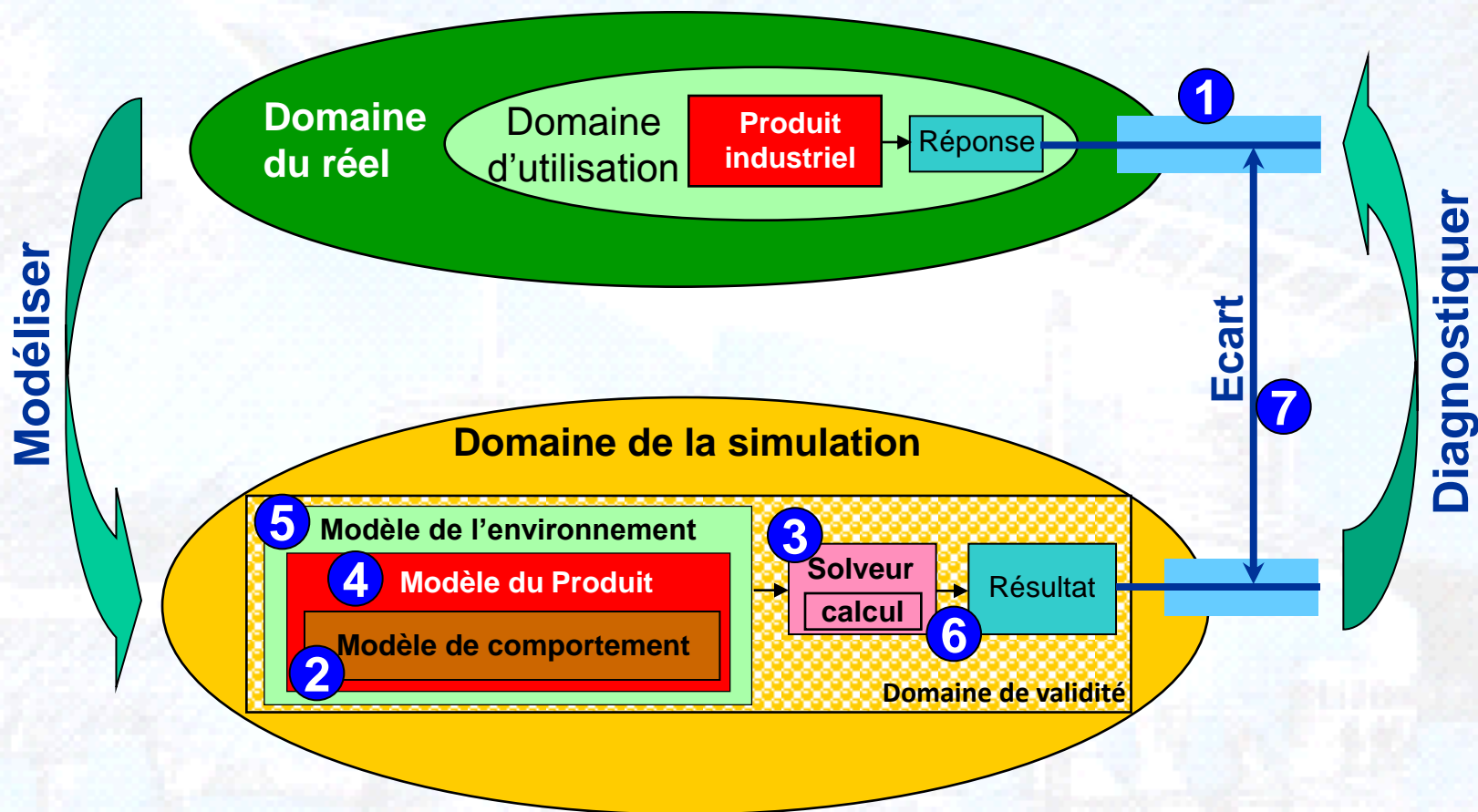
Domaine de validité

Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Démarche de simulation



La démarche de simulation permet de progresser en simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Exemple



Objectifs de la
simulation

Méthodologie
en 7 étapes

Domaine de
validité

Représentativité
des résultats

Mesurer pour
progresser

Diagnostiquer
un écart

Exemples de
simulation



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Exemple :

une suspension de moto de rallye raid.



Objectif :

Déterminer la fréquence de résonance.





LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

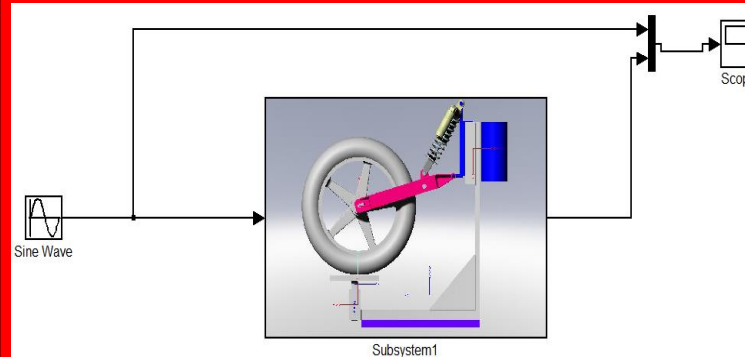
Exemple de simulation

Domaine de la simulation

Modèle de l'environnement

Excitation sinusoïdale d'amplitude 10mm

Modèle du Produit



Modèle de comp/connais

PFD, solides indéformables, liaisons parfaites, amortisseur visqueux, ...

Solveur



Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

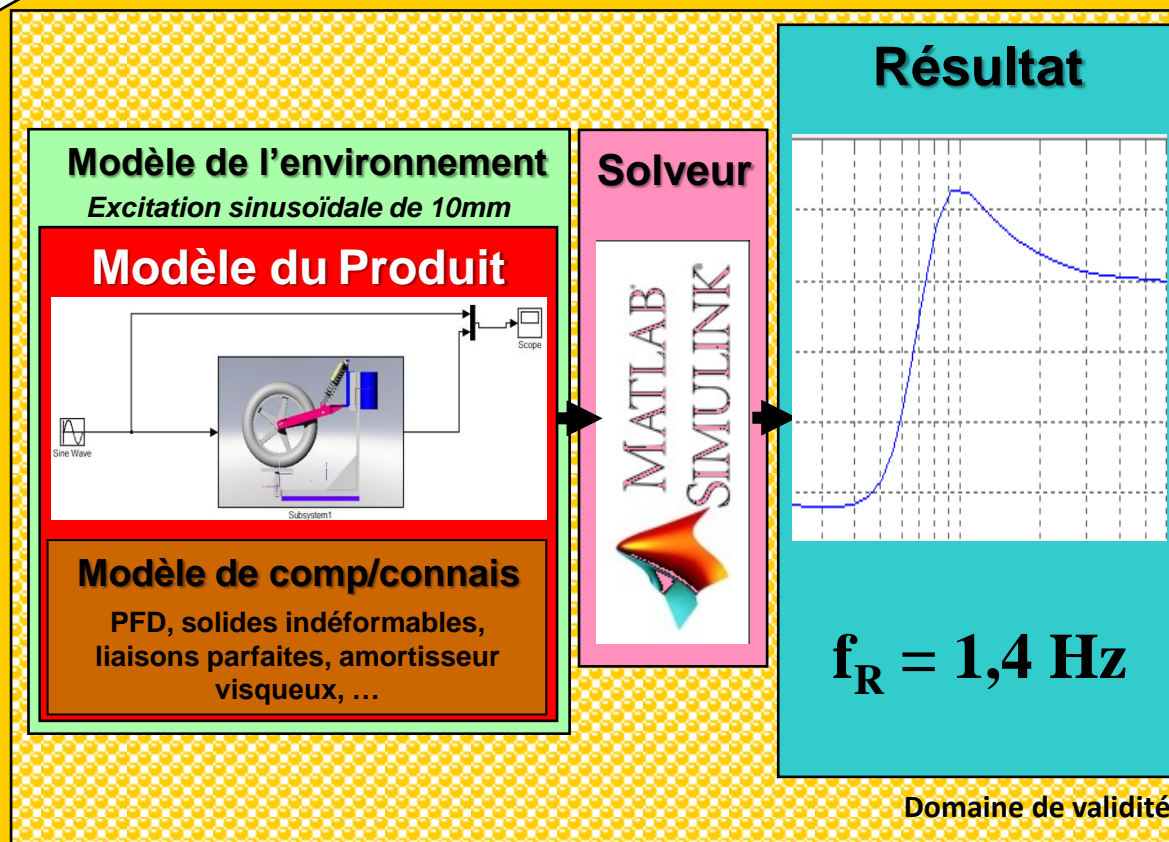
Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Domaine de la simulation





LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

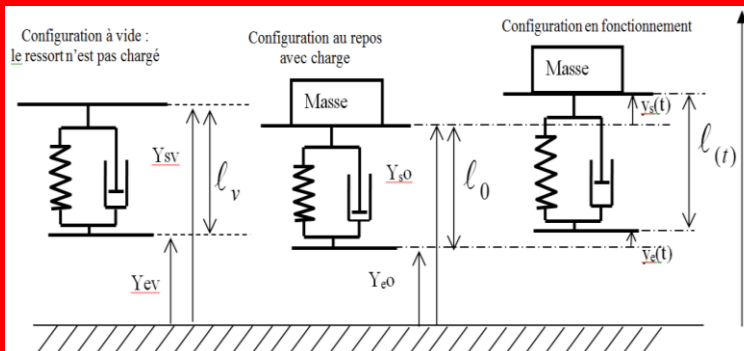
Exemple de simulation

Domaine de la simulation

Modèle de l'environnement

Excitation sinusoïdale d'amplitude 10mm

Modèle du Produit



Modèle de comp/connais

PFD, solides indéformables, amortisseur visqueux, ...

Solveur

À la main ...

Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

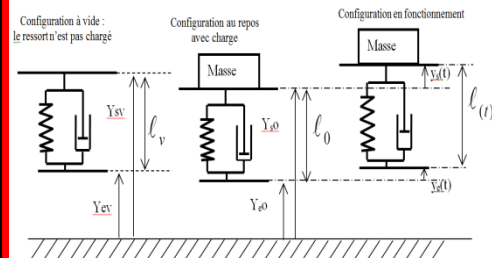
Exemple de simulation

Domaine de la simulation

Modèle de l'environnement

Excitation sinusoïdale de 10mm

Modèle du Produit



Modèle de comp/connais

PFD, solides indéformables, amortisseur visqueux, ...

Solveur

À la main ...

Résultat

$$M \cdot \ddot{y}_s = -k \cdot (y_s - y_e) - \mu \cdot (\dot{y}_s - \dot{y}_e)$$

$$\frac{Y_s(p)}{Y_e(p)} = \frac{(k + \mu p)}{(Mp^2 + \mu p + k)}$$

$$\omega_R = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot m^2}$$

$$f_R = 2,7 \text{ Hz}$$

Domaine de validité



LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DES PRODUITS INDUSTRIELS

Objectifs de la simulation

Méthodologie en 7 étapes

Domaine de validité

Représentativité des résultats

Mesurer pour progresser

Diagnostiquer un écart

Exemple de simulation

Domaine de la simulation

