

Le Model-Based Design

Une approche complète en sciences industrielles de l'ingénieur



Frédéric MAZET

Lycée Dumont d'Urville - Toulon



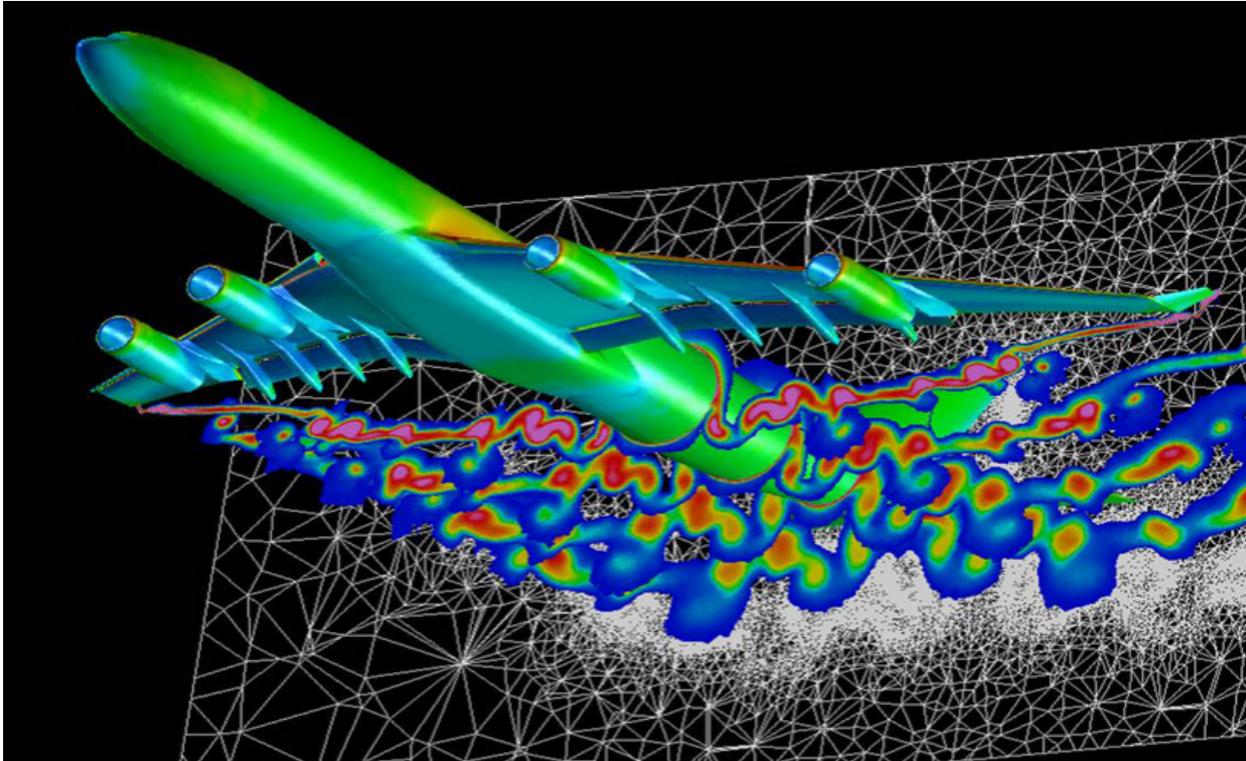
Le Model-Based Design

Miser le plus longtemps possible sur la simulation



Le Model-Based Design

Miser le plus longtemps possible sur la simulation



Le Model-Based Design

... par exemple pour éviter

Echec du 1° vol d'Ariane 5 :
Problème de codage logiciel
Coût d'un lancement : 220 M\$
Coût de la charge utile : 370 M\$



Le Model-Based Design

... par exemple pour éviter

Accélération latérale

Ariane 4 : 64 en décimal

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
128	64	32	16	8	4	2	1
0	1	0	0	0	0	0	0

Ariane 5 : 300 en décimal

2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
256	128	64	32	16	8	4	2	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0

44 sans ce 9^{ème} bit !



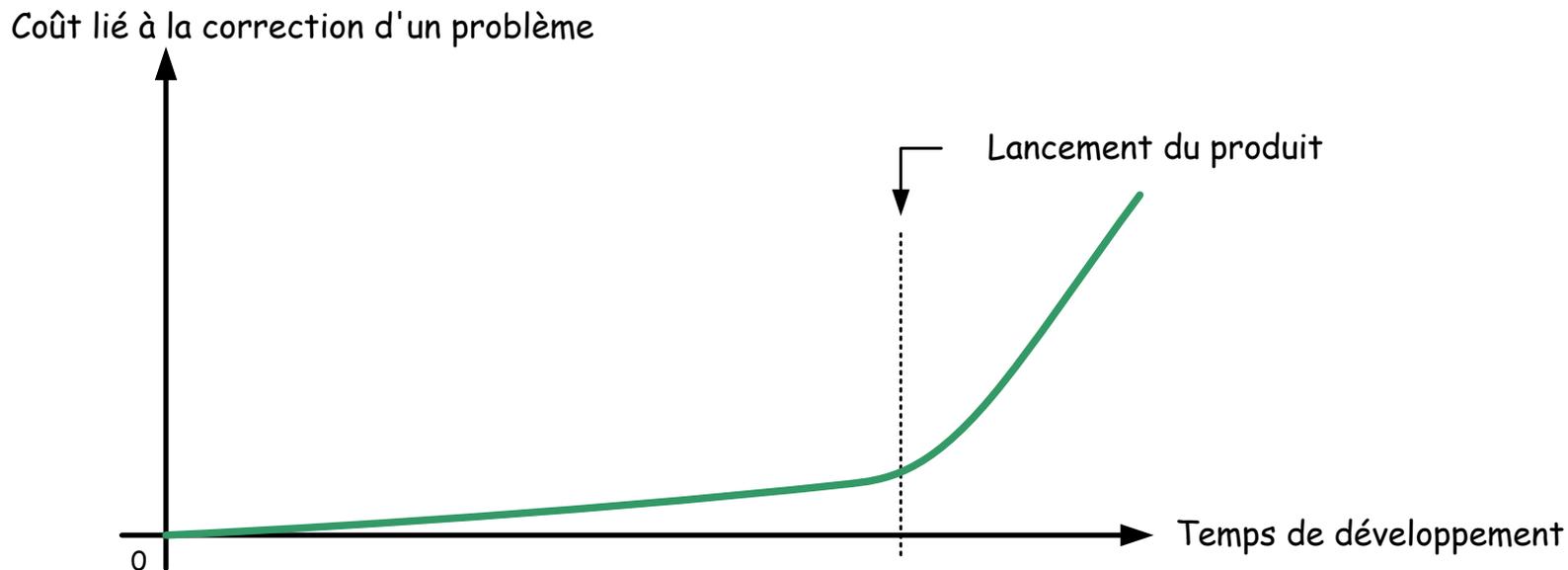
Le Model-Based Design

... pour

- Limiter les délais de mise sur le marché
- Limiter les coûts de développement
- Limiter les risques matériels et humains
- Optimiser les performances des produits

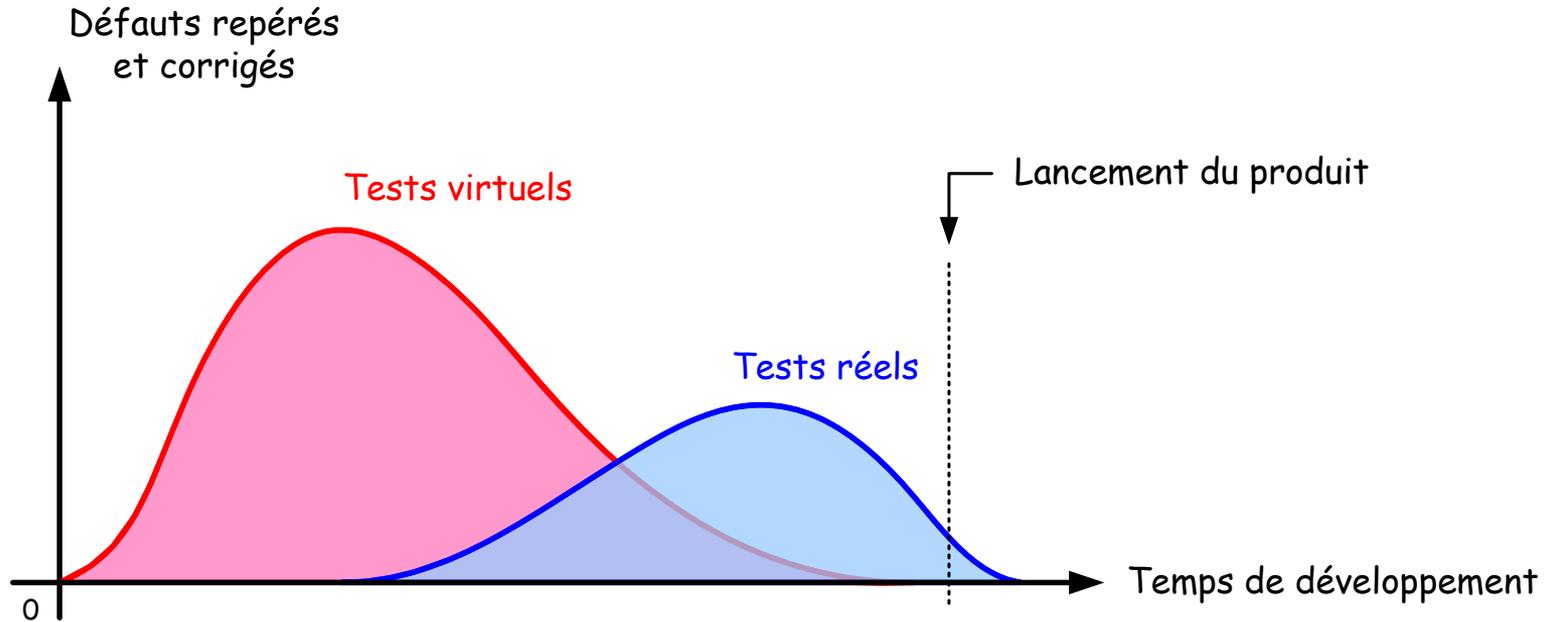
Le Model-Based Design

... vers l'optimisation des produits



Le Model-Based Design

... vers l'optimisation des produits

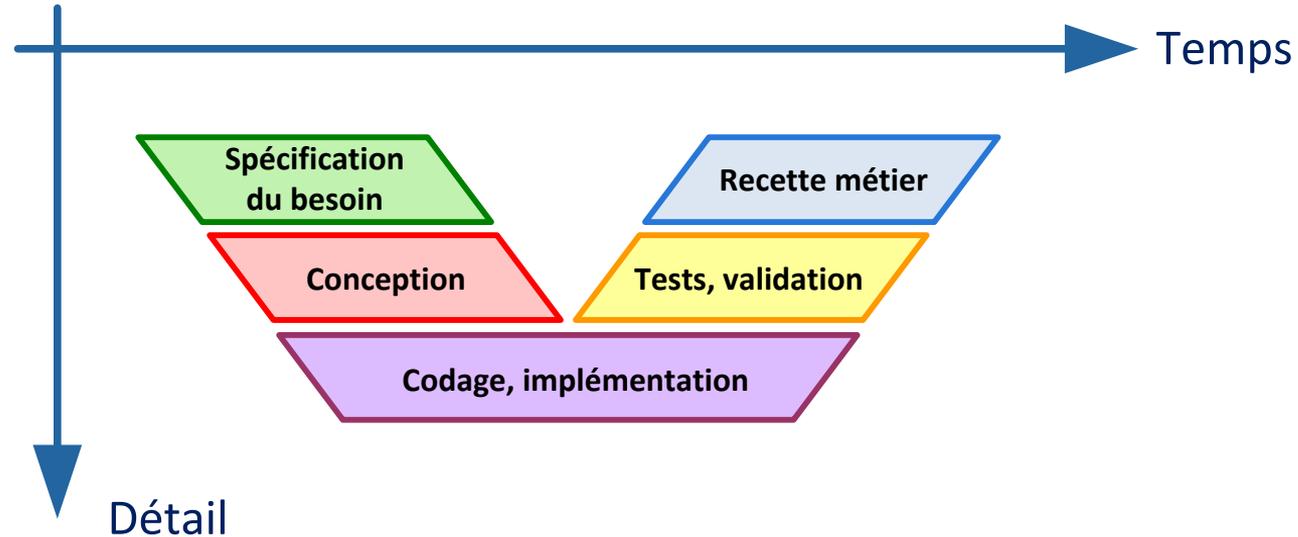




Le Model-Based Design

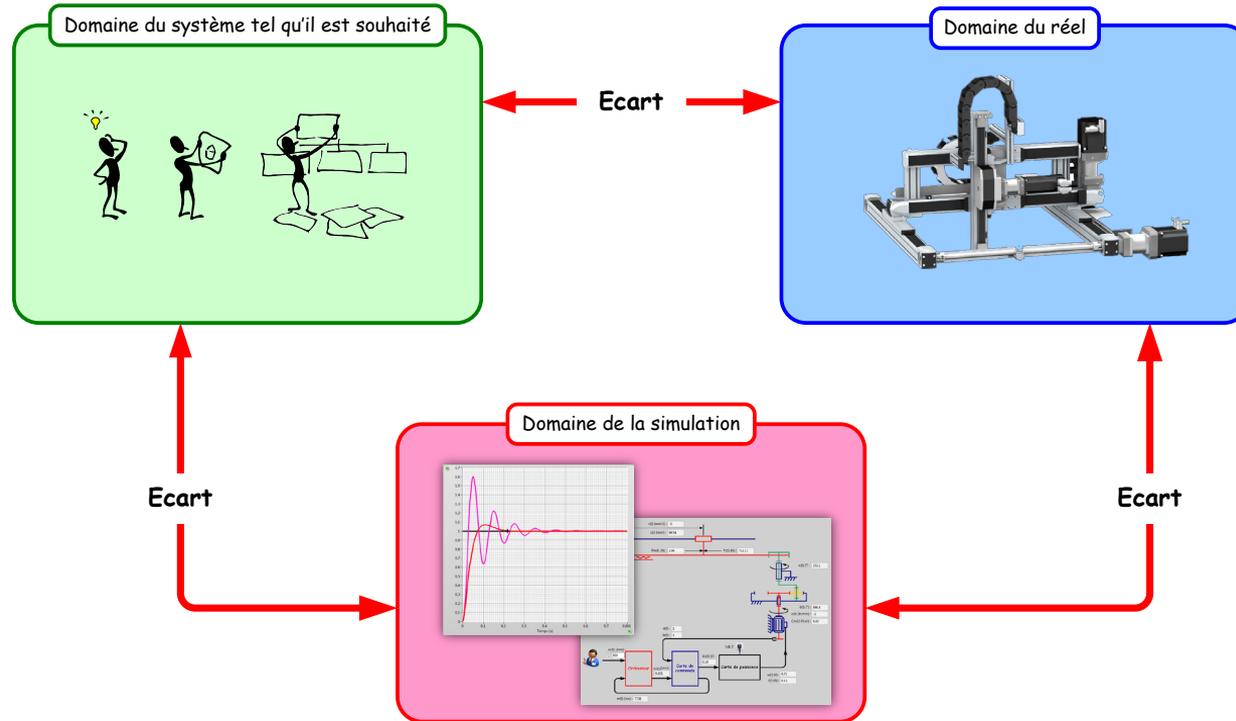
à travers le cycle en V

standard industriel en matière de gestion de projet



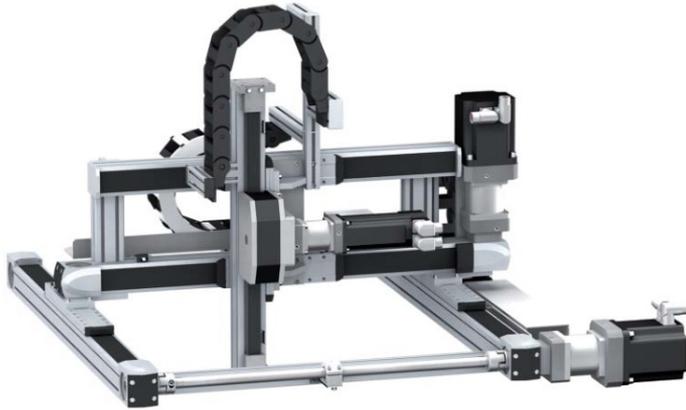
Le Model-Based Design

à travers la démarche d'analyse des écarts



Le Model-Based Design

... des spécifications fonctionnelles à la validation des performances



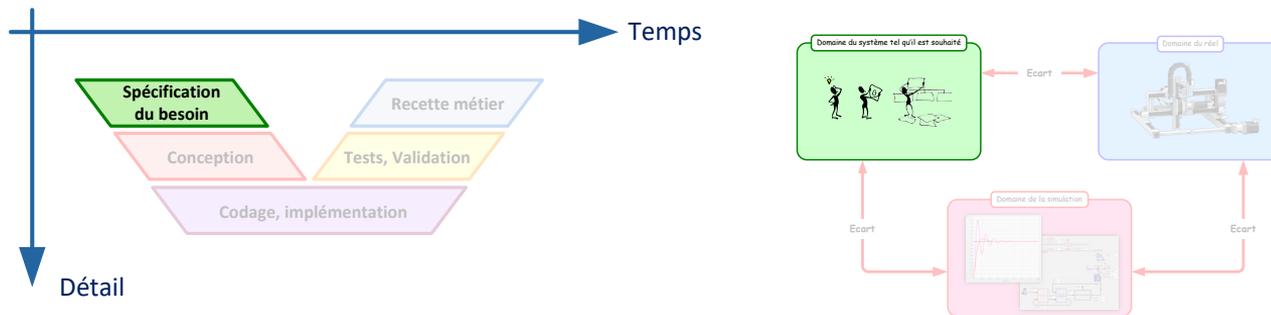
Moyen de satisfaire le cahier des charges :
l'algorithme de correction

**Exemple à travers
un axe linéaire**



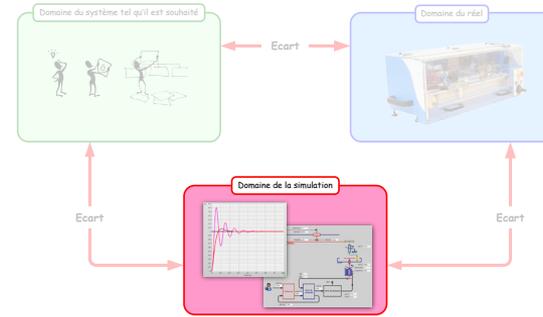
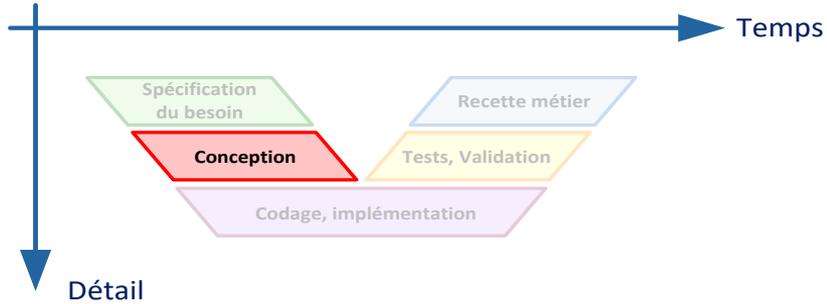
Spécification du besoin

Quel correcteur pour respecter les exigences ?



Exigence	Critères		Niveaux
Permettre de positionner une pièce.	C1	Asymptotiquement stable	
	C2	Amortissement	$D_1 < 15\%$
	C3	Rapidité	$T_{5\%} < 150 \text{ ms}$ $T_m < 100 \text{ ms}$
	C4	Précision	$\varepsilon_S < 0.5 \text{ mm}$
	C5	Course	300 mm

La conception



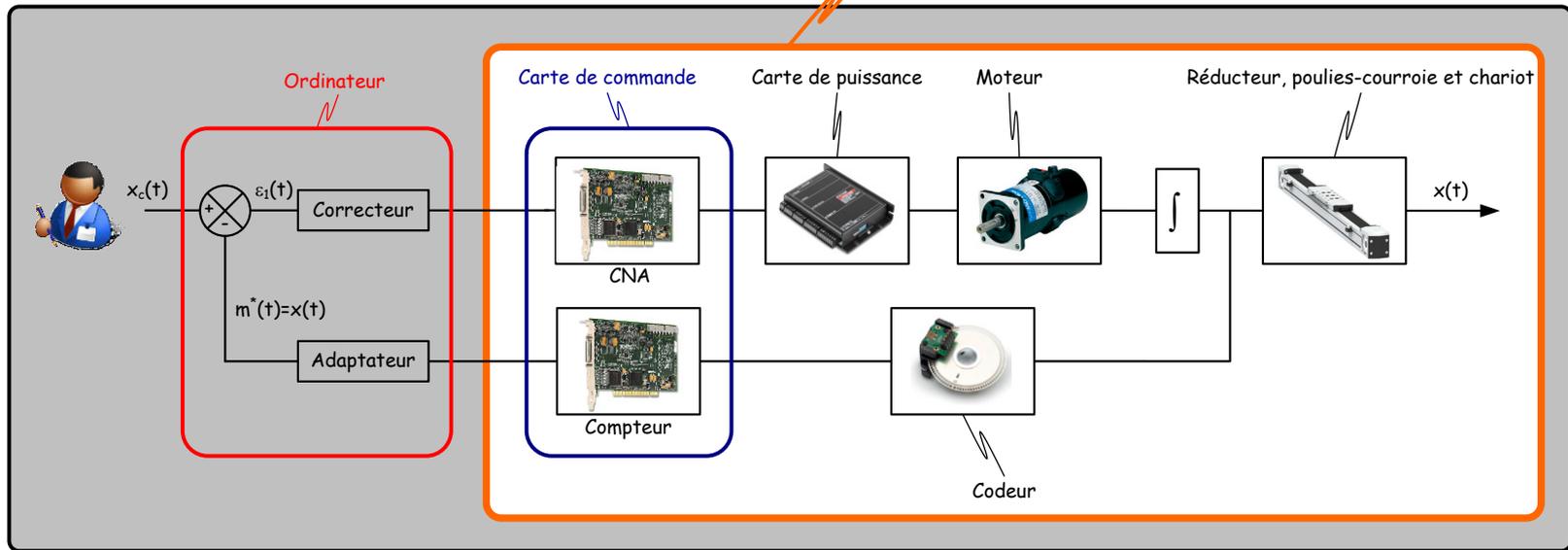
Conception divisée en 3 phases

- **Modélisation**
- Validation du modèle
- Simulations Model-in-the-loop

La conception : 1^o phase

Modélisation

Boucle ouverte à modéliser

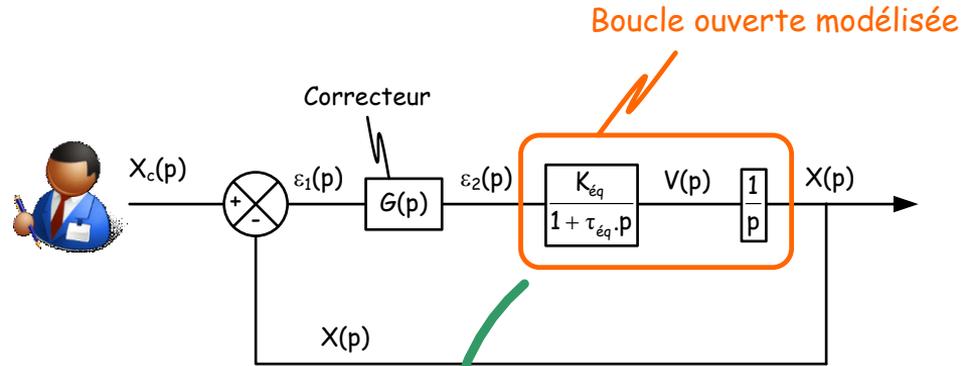


La conception : 1^o phase

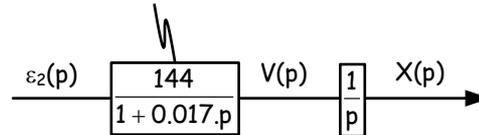
Modélisation



Une bonne douzaine d'hypothèses

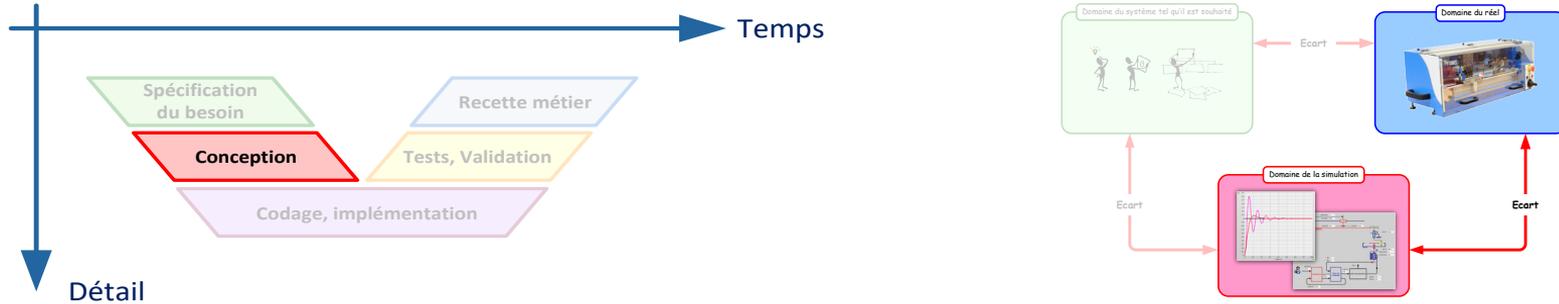


Moteur linéaire équivalent



La conception : 2^o phase

Validation du modèle



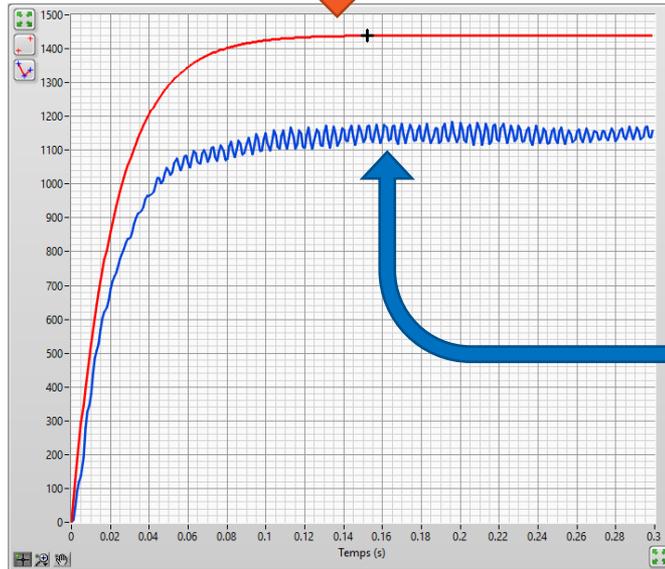
Conception divisée en 3 phases

- Modélisation
- **Validation du modèle**
- Simulations Model-in-the-loop

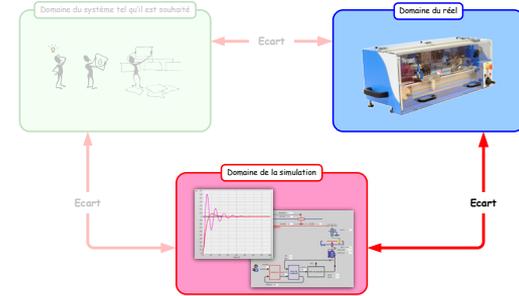
La conception : 2^o phase

Validation du modèle

Vitesse simulée

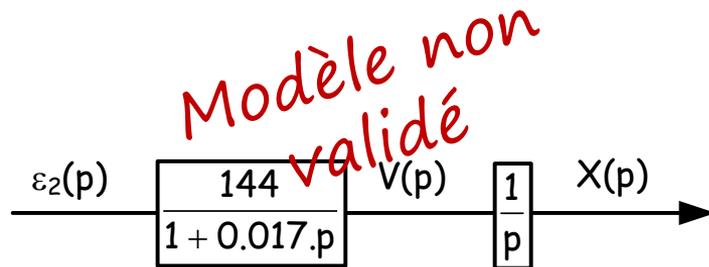
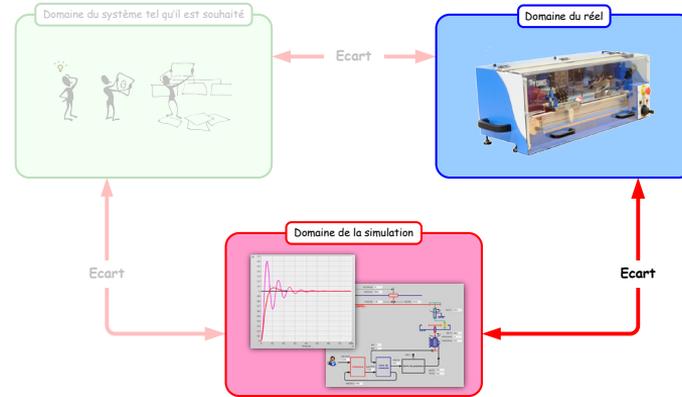


Vitesse réelle

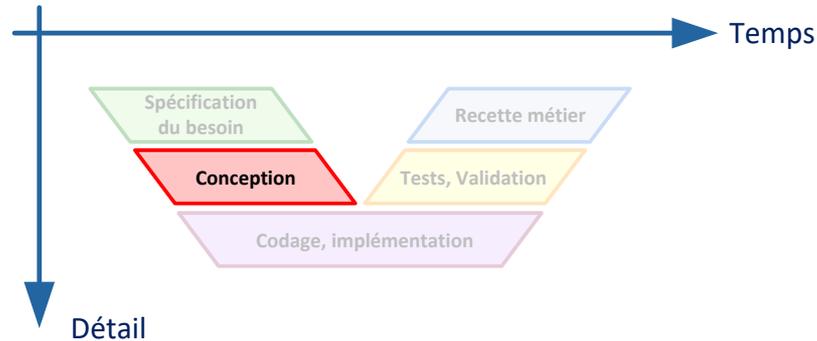


La conception : 2^o phase

Validation du modèle



La conception : 2^o phase



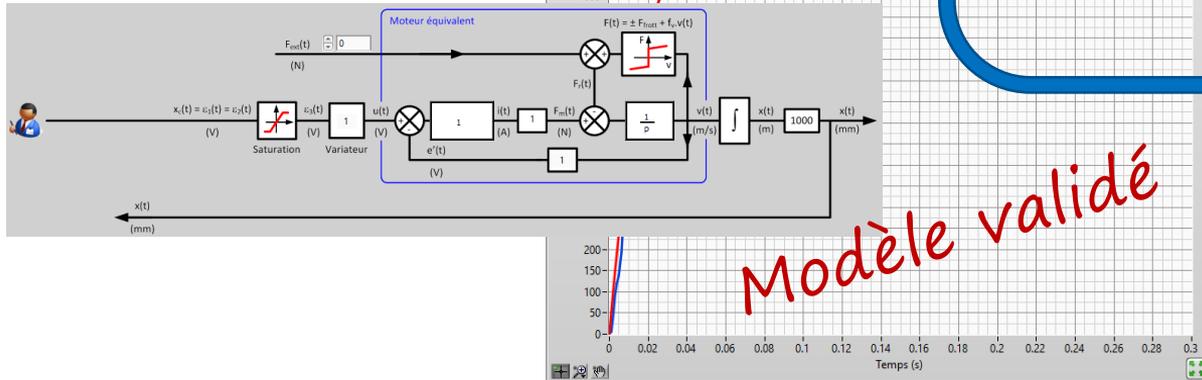
Itérations successives jusqu'à obtenir un modèle réputé "convenable"

- **Modélisation**
- Validation du modèle

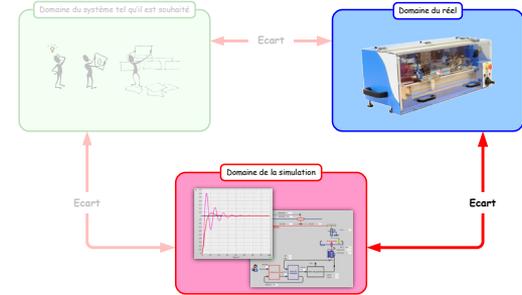
La conception : 2^o phase

Validation du modèle

Nouvelle
vitesse
simulée

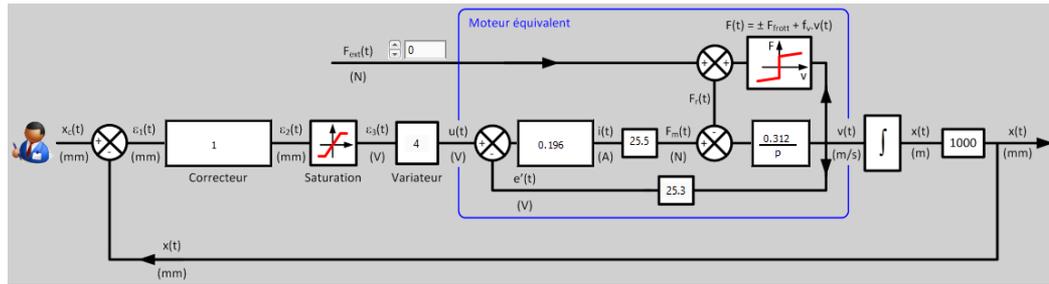


Modèle validé

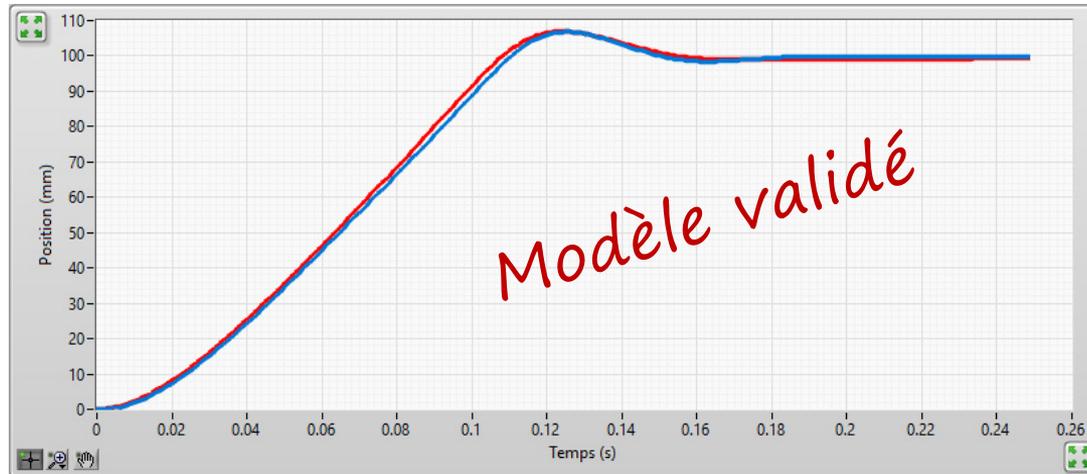
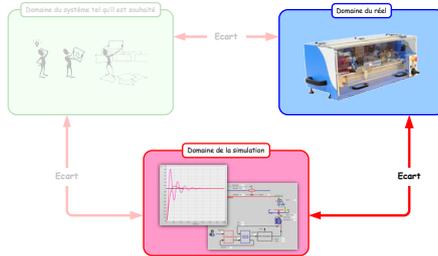


Vitesse réelle

La conception : 2^o phase

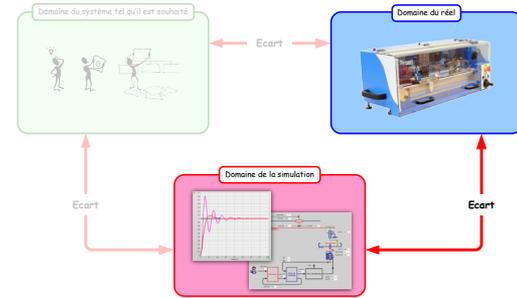
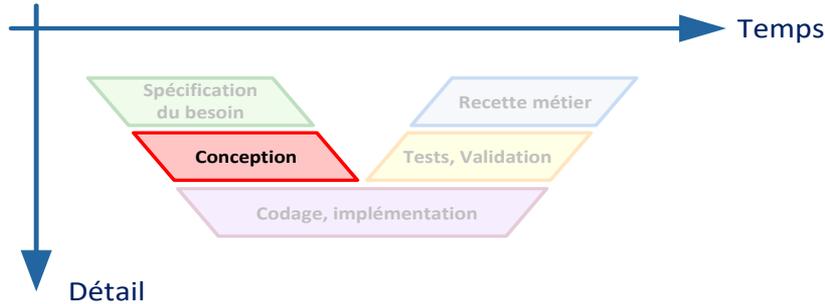


...du modèle de boucle ouverte
au modèle de boucle fermée



La conception : 3^o phase

Simulations

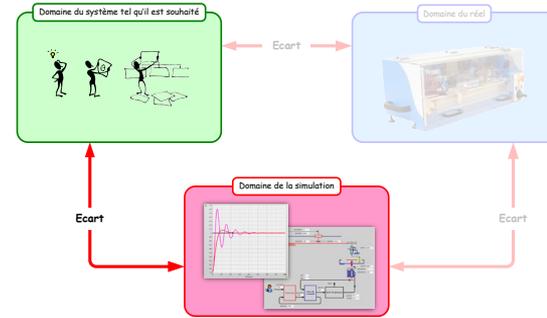
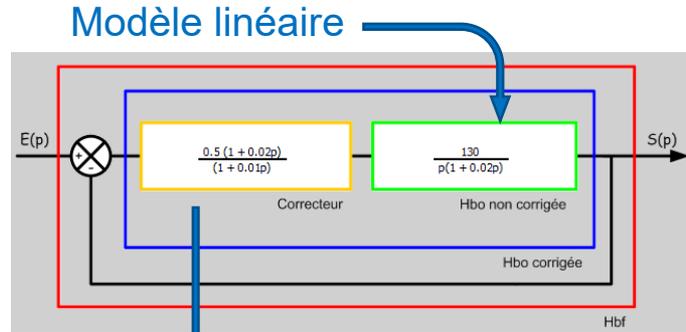


Conception divisée en 3 phases

- Modélisation
- Validation du modèle
- **Simulations Model-in-the-loop**

La conception : 3 ° phase

Synthèse de correcteur



Choix correcteur

Correcteur

PID parallèle PID académique PID LabVIEW Avance de phase, action D Retard de phase, action I Avance - Retard Linéaire quelconque Coupe bande

K 0.01 0.1 1 10 5

τ 0 0.005 0.01 0.003

a 1 5 10 2 $a > 1$

$$K_c \frac{1+a\tau p}{1+\tau p} = \frac{5(1+0.006p)}{(1+0.003p)}$$

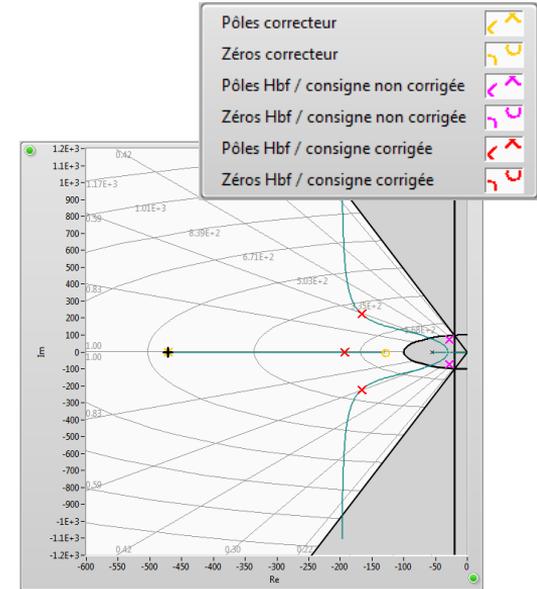
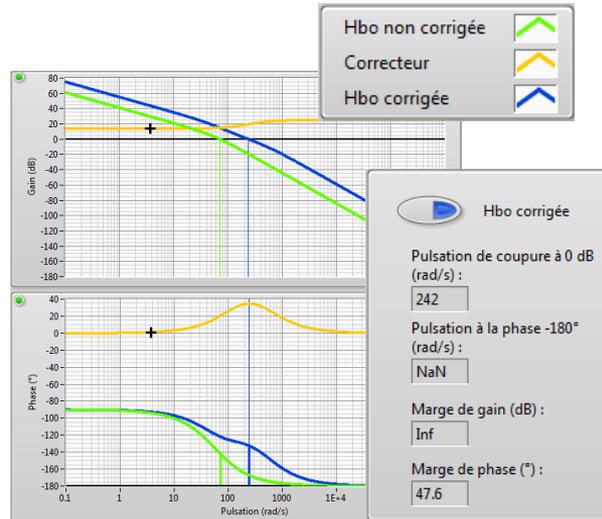
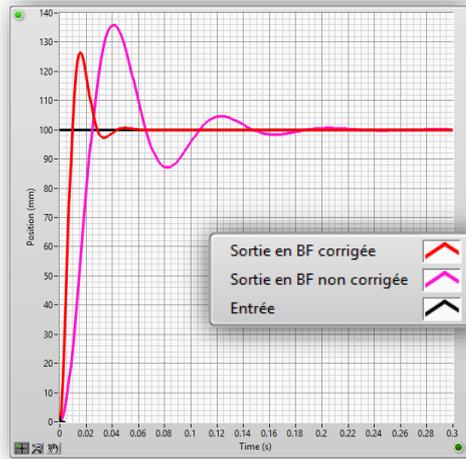
Pulsation avance maxi (rad/s) 235.7

Avance maxi (deg) 19

La conception : 3^o phase

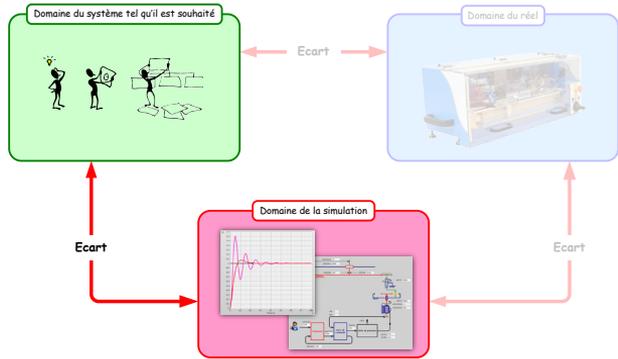
Synthèse de correcteur

Calage dans le domaine temporel, fréquentiel ou lieu des pôles



La conception : 3^o phase

La synthèse du correcteur



Les performances simulées respectent le cahier des charges

Synthèse de correcteur effectuée

Correcteur

PID parallèle | PID académique | PID LabVIEW | Avance de phase, action D | Retard de pression | Avance - Retard | Linéaire quelconque | Coupe bande

K 0.01 0.1 1 10 5

τ 0 0.005 0.01 0.003

a 1 5 10 2 $a > 1$

Pulsation avance maxi (rad/s) 235.7

Avance maxi (deg) 19

$$K \cdot \frac{1 + a \cdot \tau \cdot p}{1 + \tau \cdot p} = \frac{5(1 + 0.006p)}{(1 + 0.003p)}$$

La conception : 3 ° phase

Simulations hors ligne

Batterie de tests virtuels :

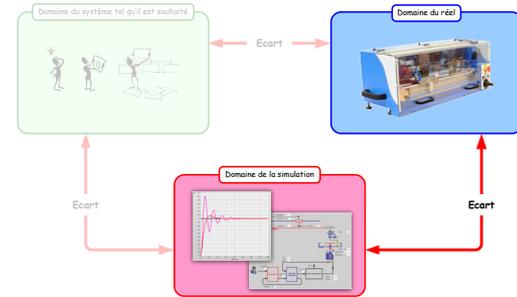
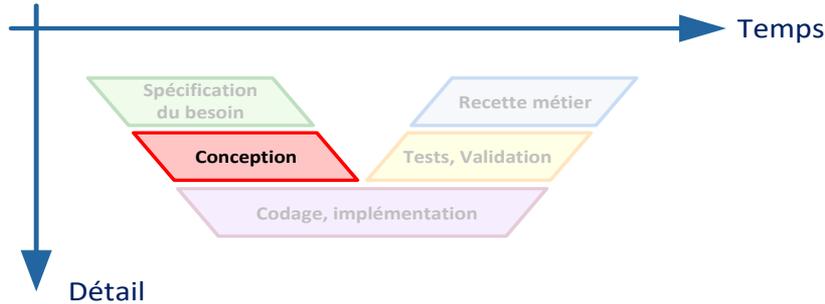
- Scénarii les plus contraignants
- Tous type d'entrées, toutes amplitudes, prise en compte de perturbations, simulation du vieillissement...

Buts

- Détection d'erreur très tôt dans le cycle de conception
- Report des tests réels (longs, chers et risqués) le plus tard possible
- Anticiper les phases de réglage en travaillant sur le modèle

La conception : 3^o phase

Simulations



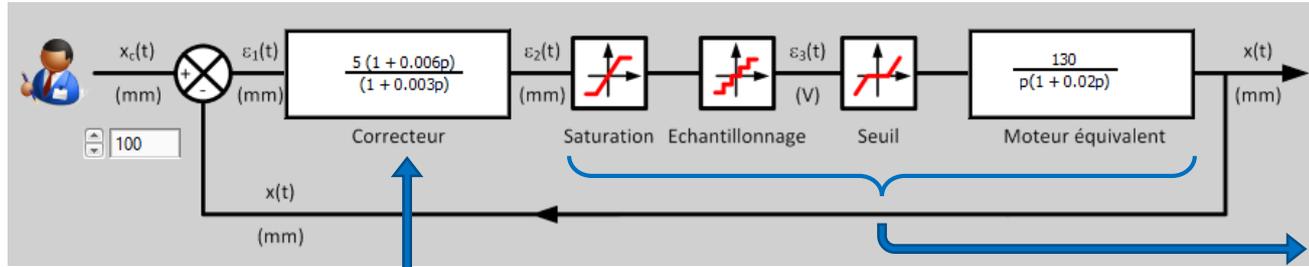
Conception divisée en 3 phases

- Modélisation
- Validation du modèle
- **Simulations Model-in-the-loop**

La conception : 3 ° phase

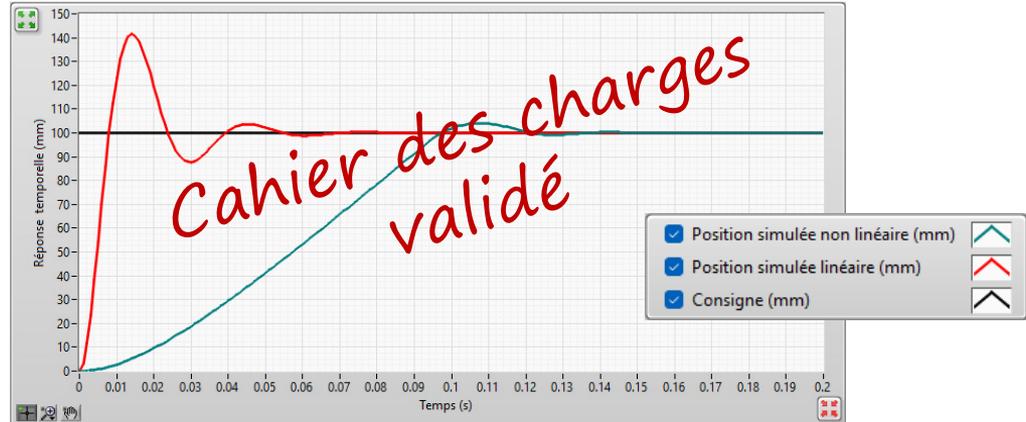
Simulations hors ligne

Simulation de la BF



Modèle non linéaire
précédemment validé

Correcteur



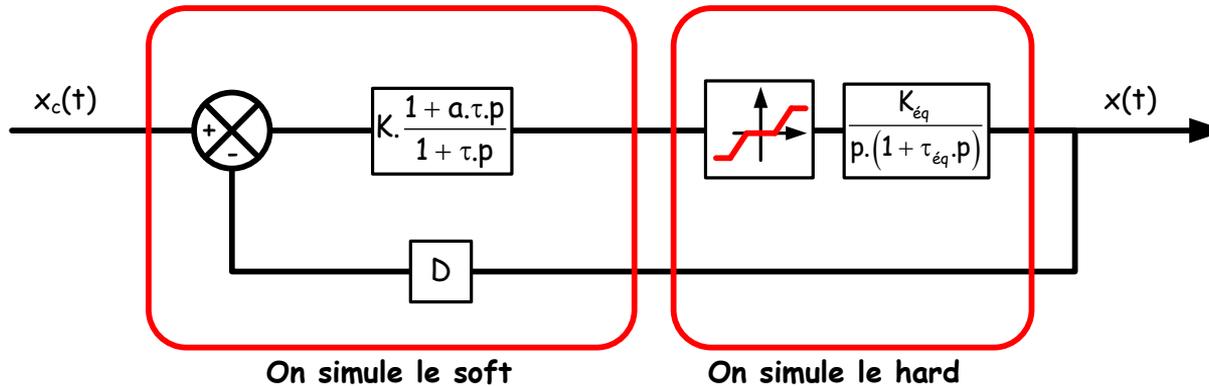
La conception : 3 ° phase

Batterie de tests, validation de toutes les performances



A ce stade, tout est donc simulé...

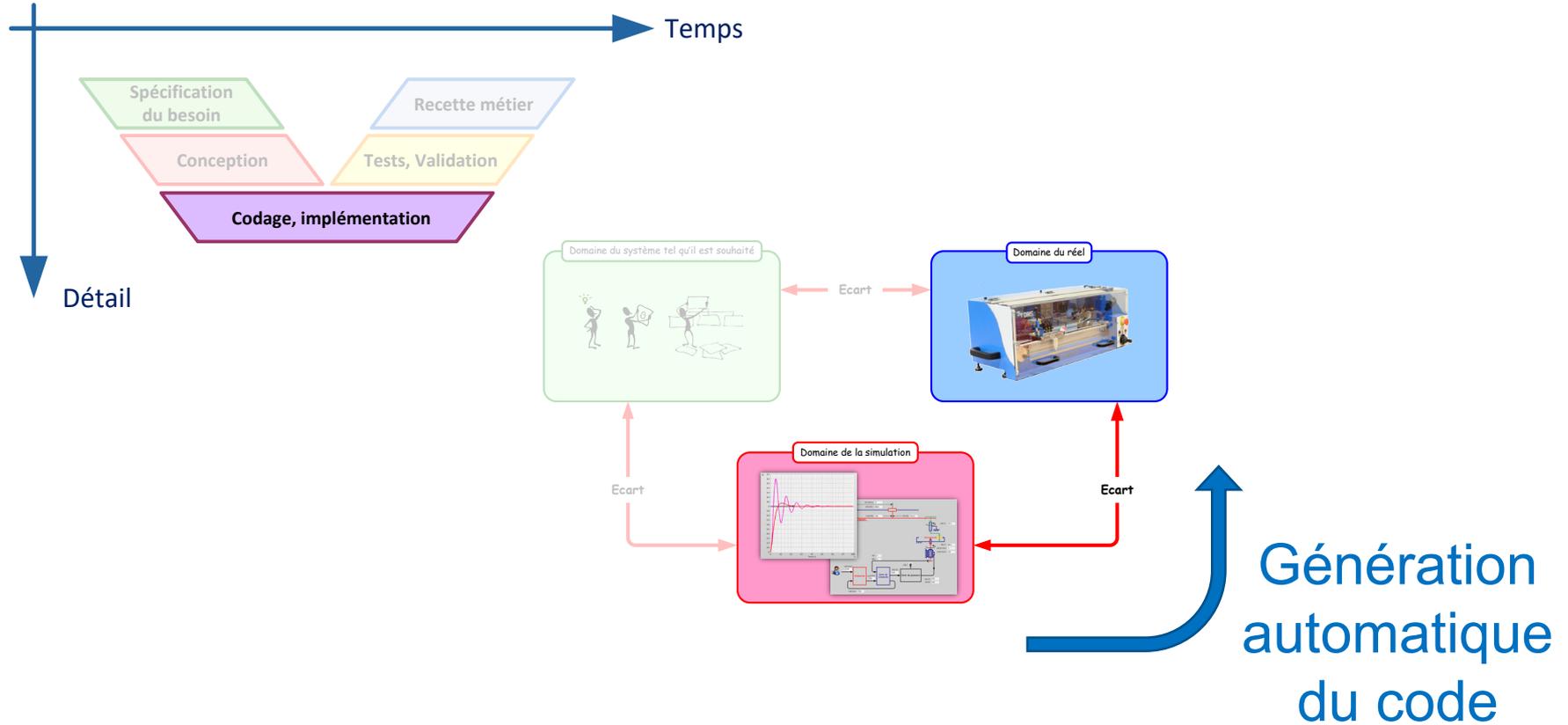
Model in the loop



A ce stade de la conception, tout est simulé

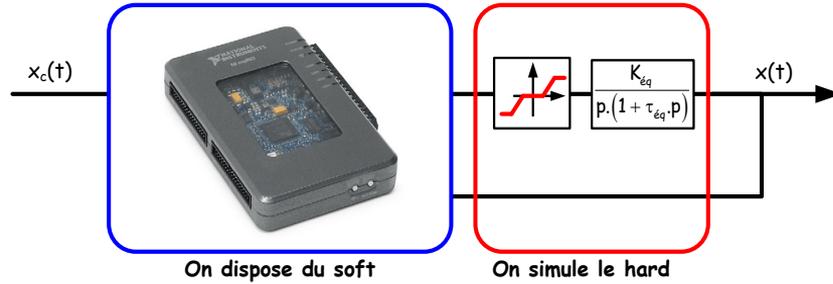


L'implémentation



L'implémentation

1° temps : software / processor in the loop

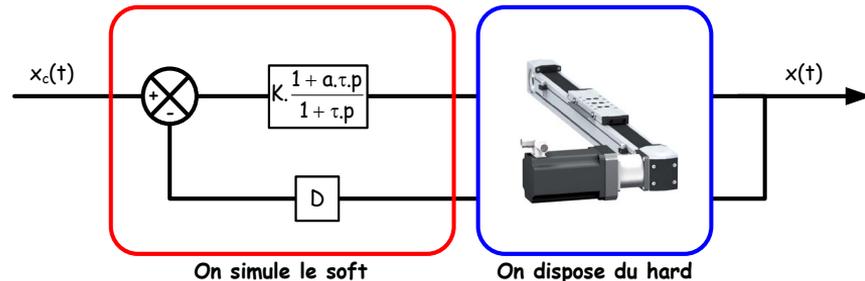


On peut simuler toute une variété d'environnements des plus sévères...

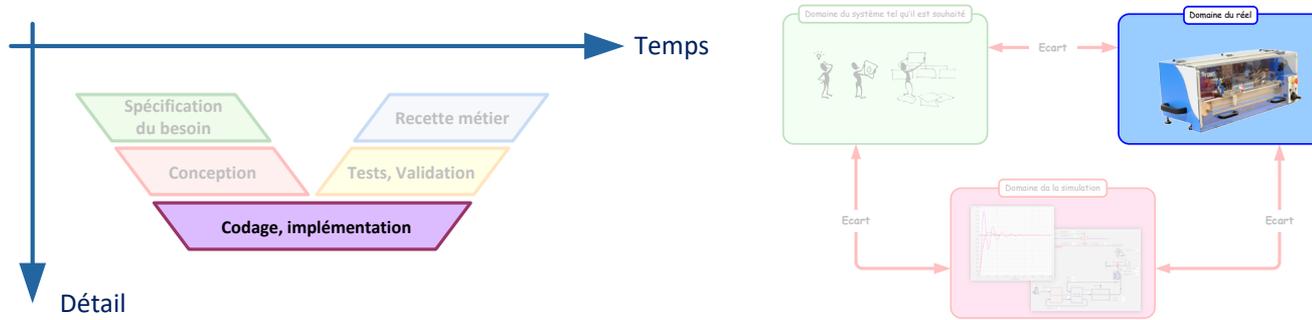
Le soft tourne dans le matériel définitif (la cible)



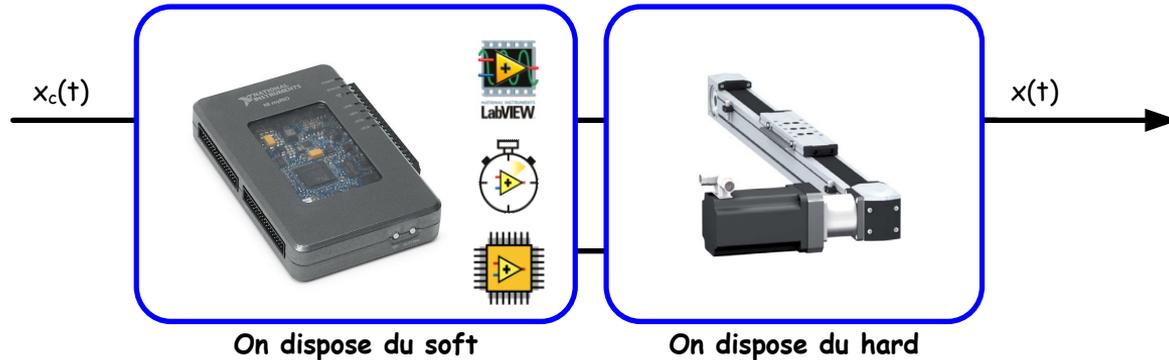
2° temps : hardware in the loop



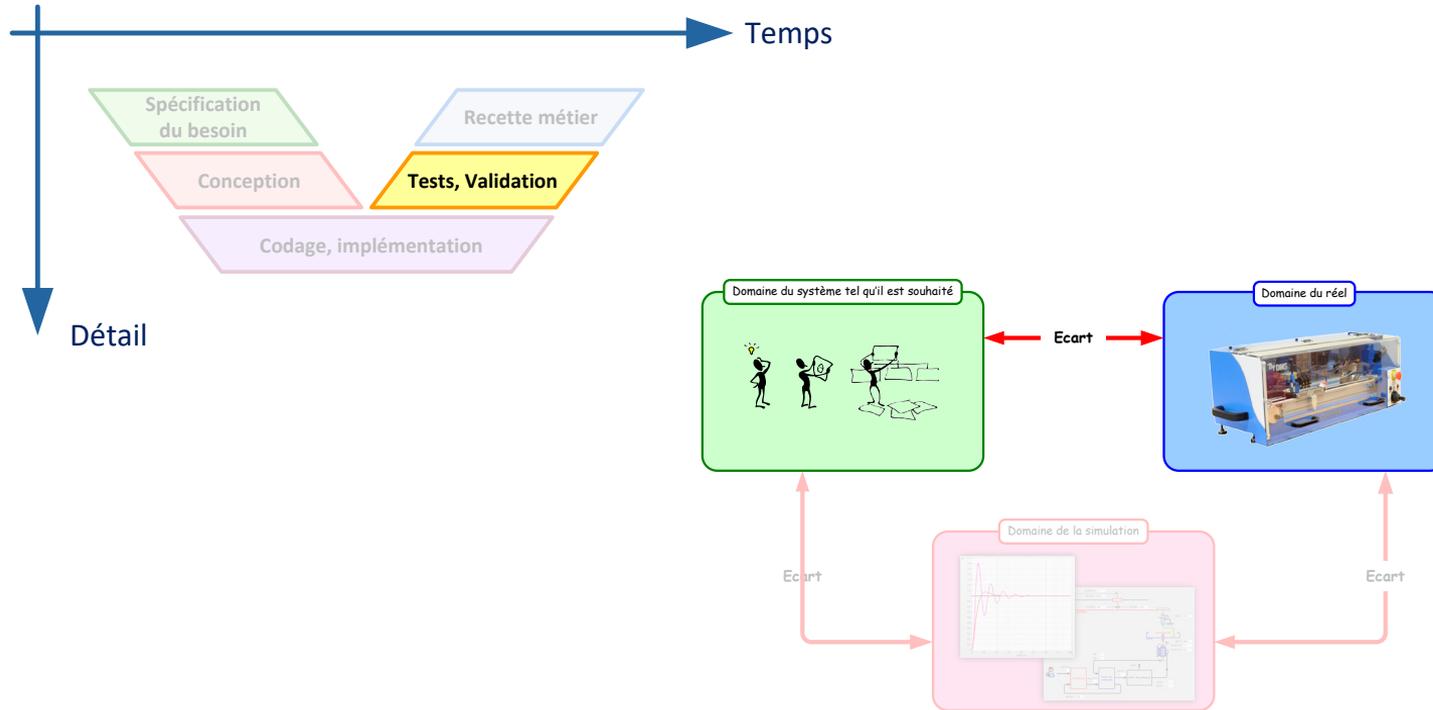
L'implémentation



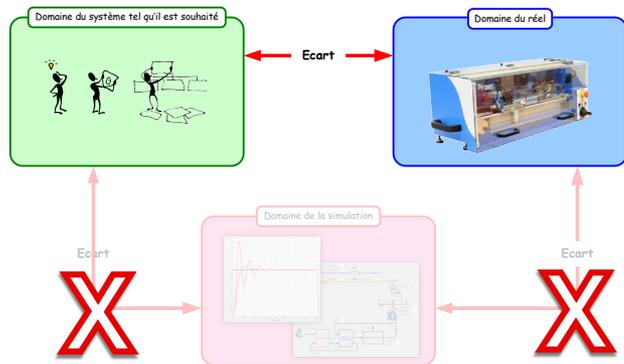
Tout tourne sur le matériel définitif



Test et validation



Test et validation

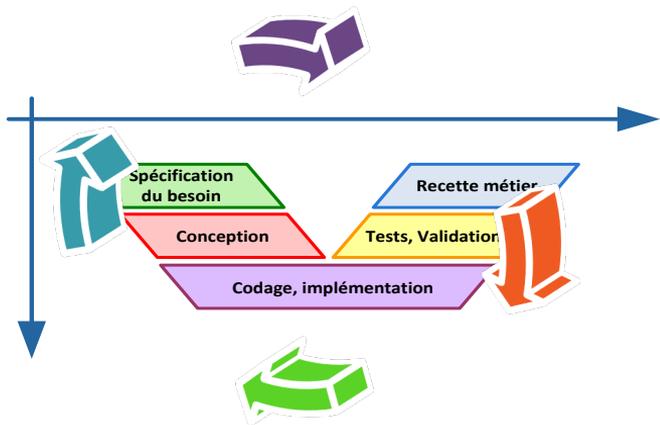


Réponse réelle



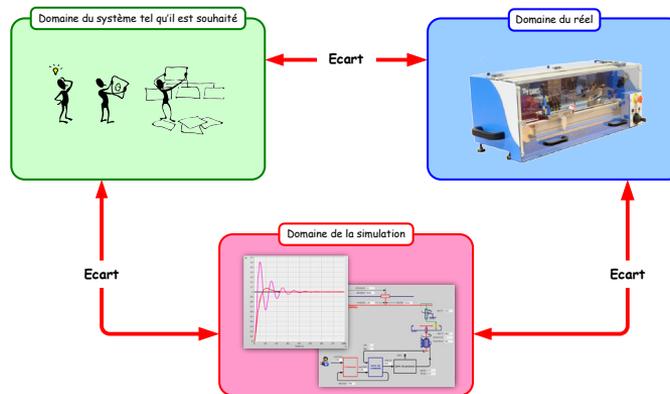
Cahier des charges validé

Test et validation

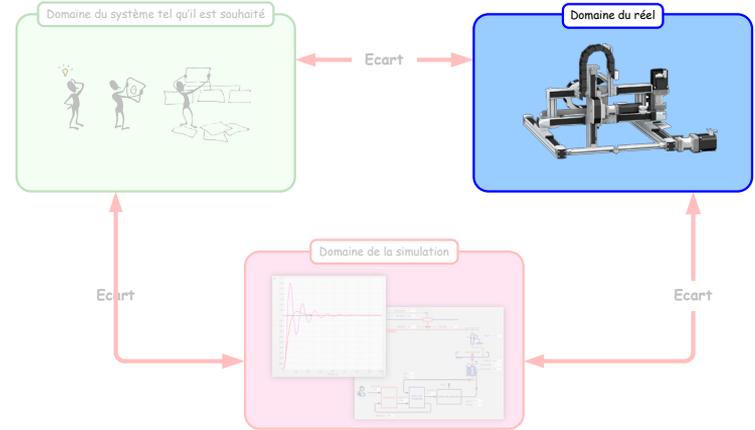
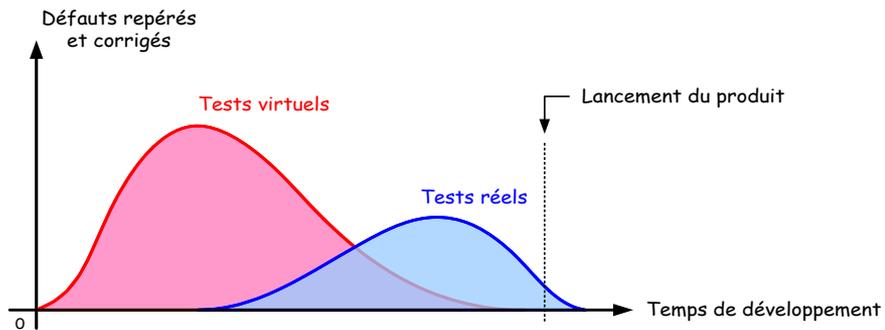
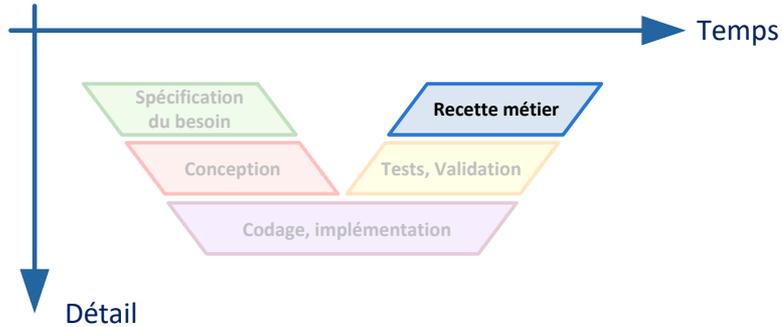


Itérations quasi-immédiates

Cahier des charges non validé ?



Recette métier



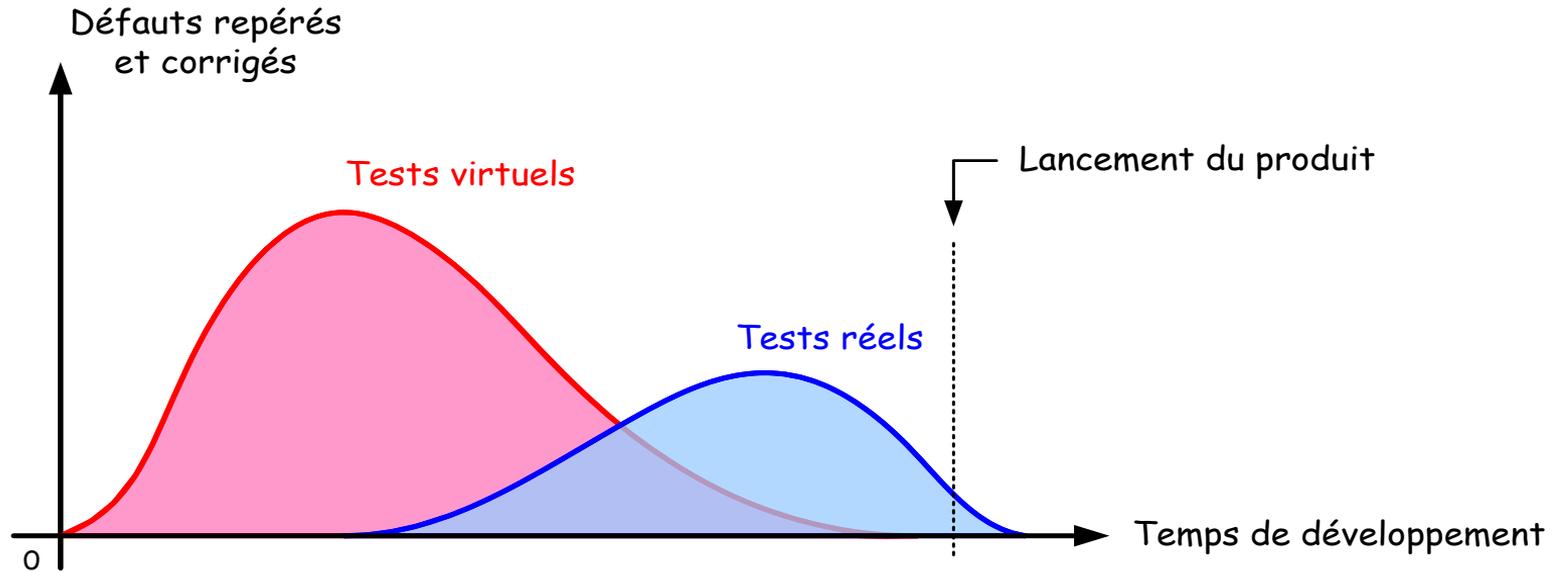
Le Model-Based Design

... pour

- Limiter les délais de mise sur le marché
- Limiter les coûts de développement
- Limiter les risques matériels et humains
- Optimiser les performances des produits

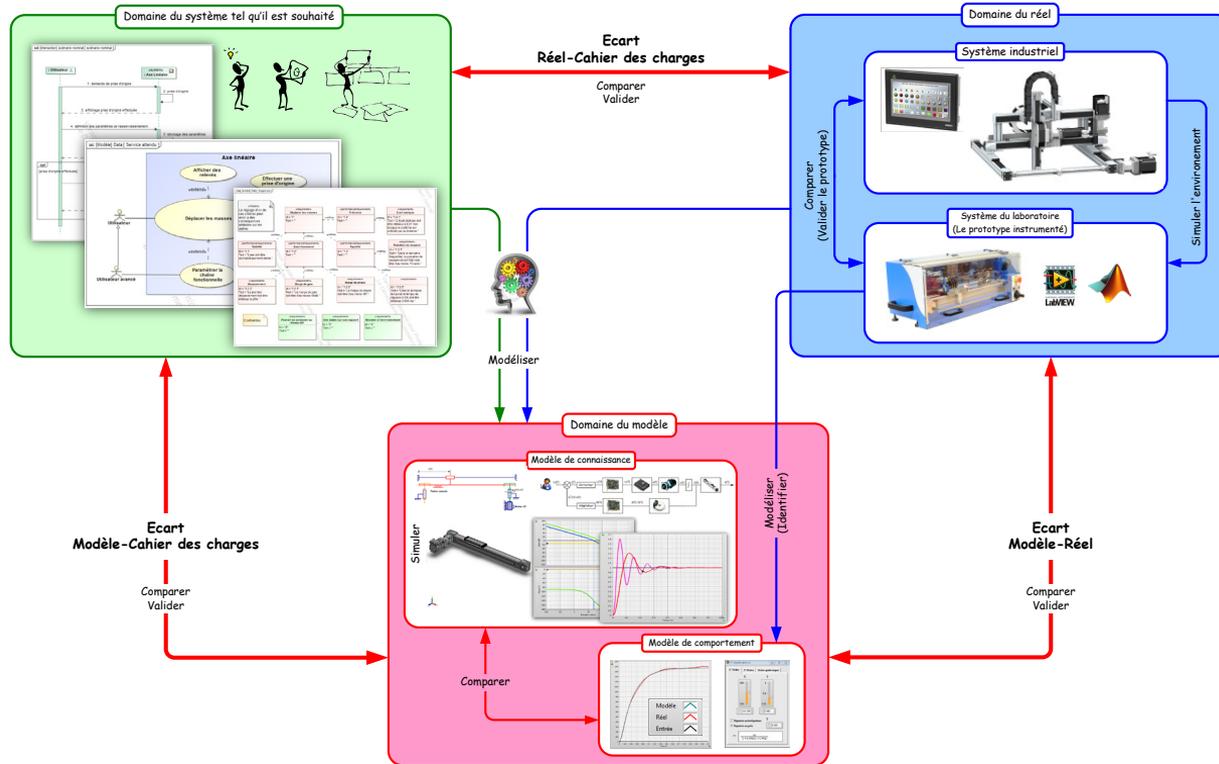
Le Model-Based Design

... vers l'optimisation des produits



Le Model-Based Design

à travers la démarche d'analyse des écarts



Modèle de connaissance, de comportement, causal, acasual...

Transparent en +

Le Model-Based Design

vs

La méthode "Generate and test" ou "Trial and error"

