

Le Model-Based Design

Une approche complète en sciences
industrielles de l'ingénieur

Frédéric MAZET

Lycée Dumont d'Urville
Toulon



Ivan LIEBGOTT

Lycée des Eucalyptus
Nice

Le Model-Based Design

Une méthode de conception des systèmes complexes



Le Model-Based Design

pour éviter

Echec du 1^{er} vol d'Ariane 5 :

Problème de codage logiciel

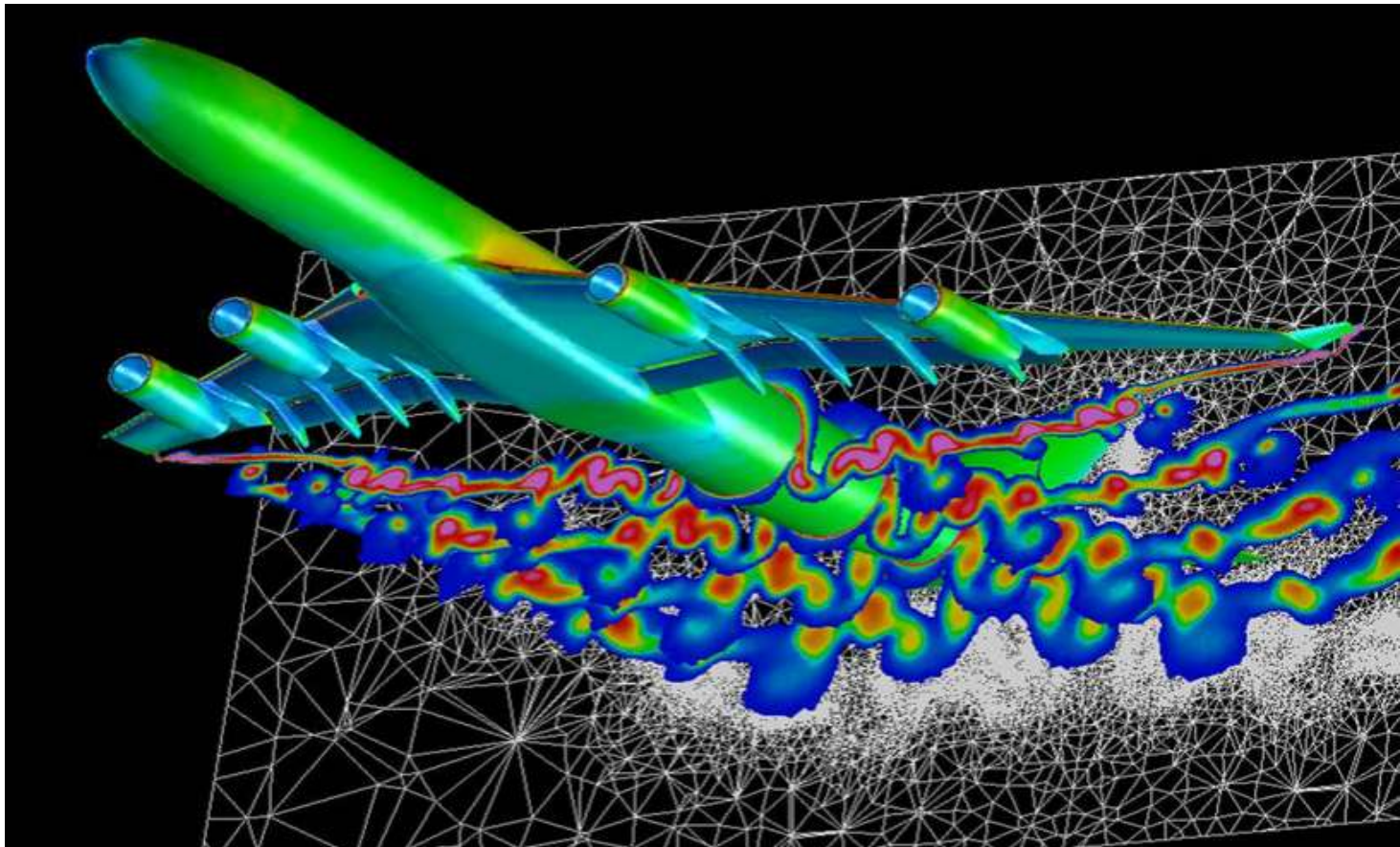
Coût d'un lancement : 220 M\$

Coût de la charge utile : 370 M\$



Le Model-Based Design

Miser le plus longtemps possible sur la simulation
numérique

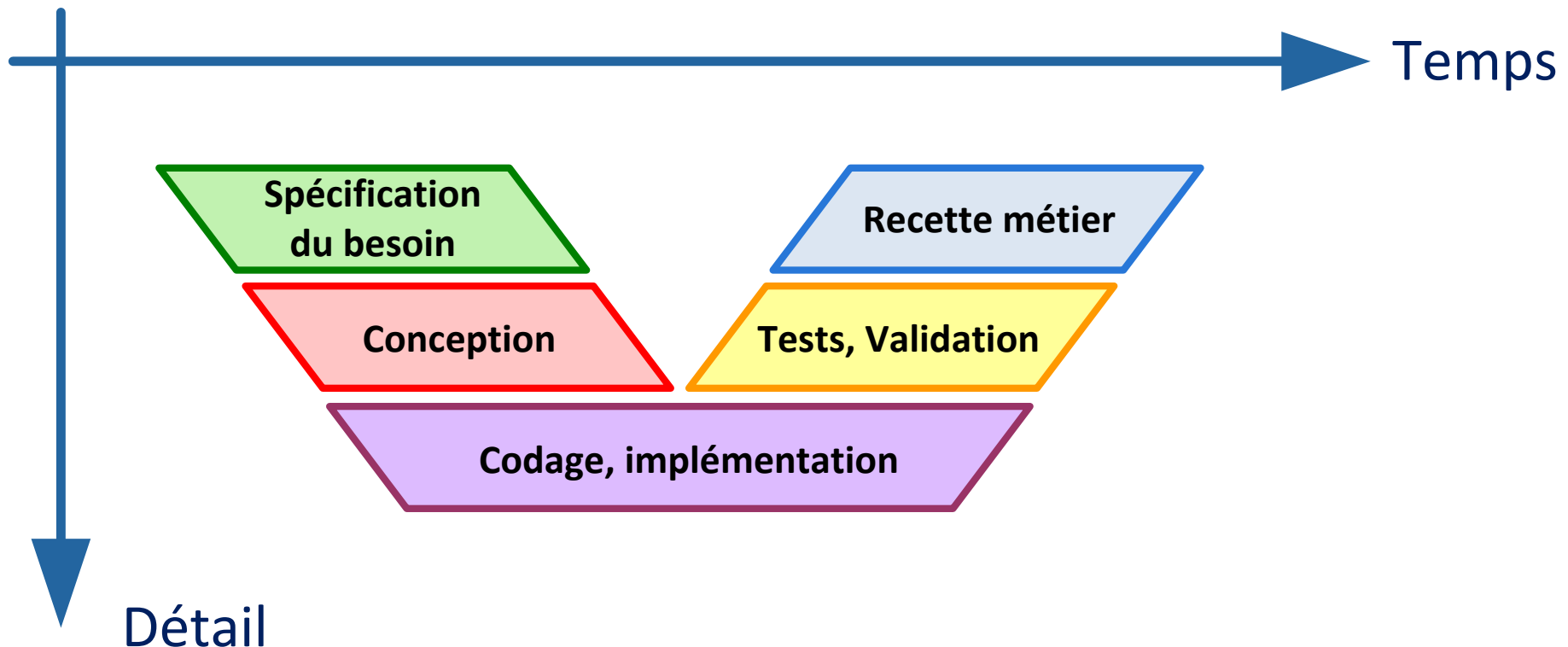


Le Model-Based Design pour

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

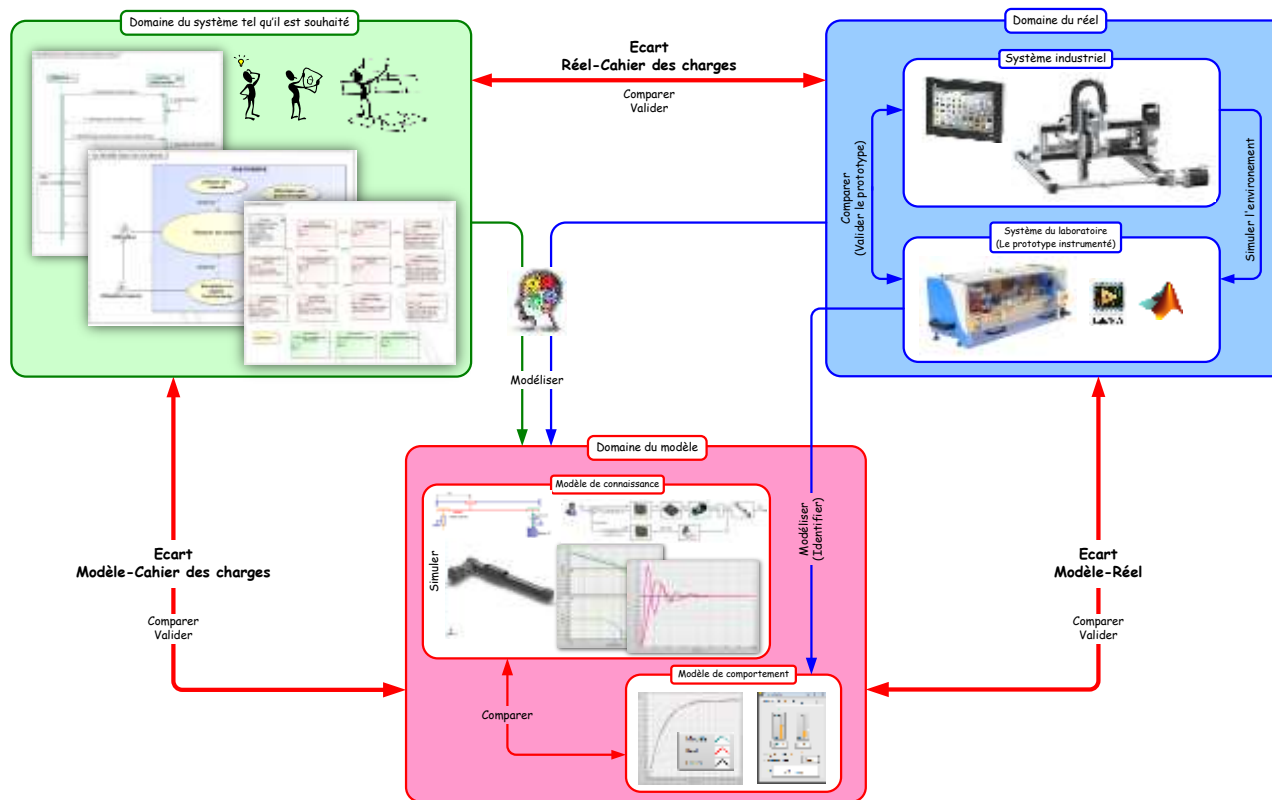
Le Model-Based Design

à travers le cycle en V : le standard industriel en matière de gestion de projet



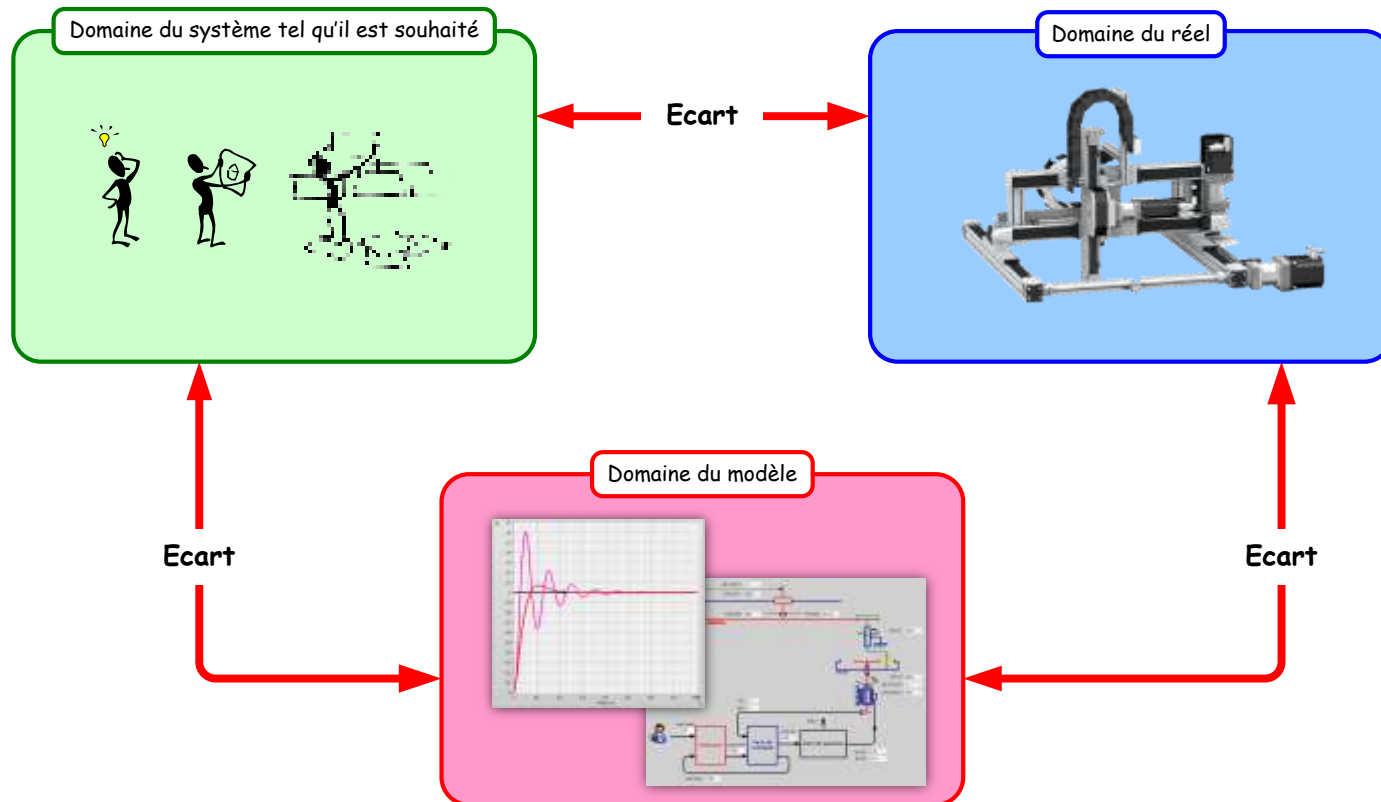
Le Model-Based Design

à travers la démarche d'analyse des écarts



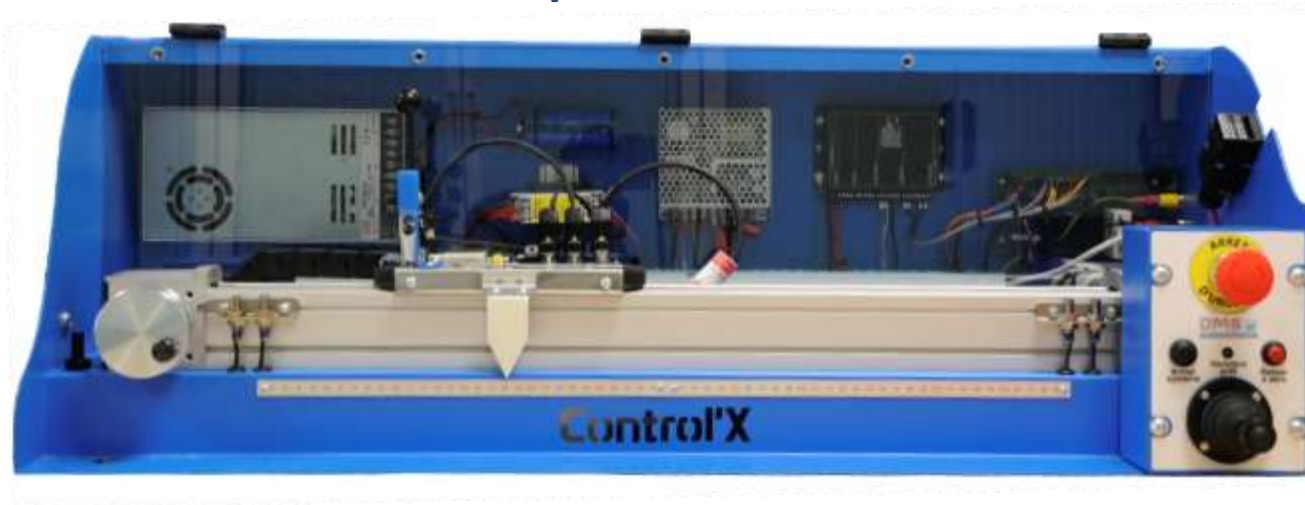
Le Model-Based Design

à travers la démarche d'analyse des écarts



Le Model-Based Design

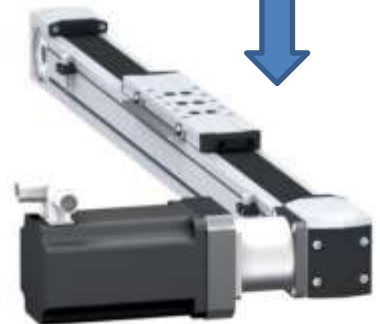
De la spécification fonctionnelle à la validation
des performances



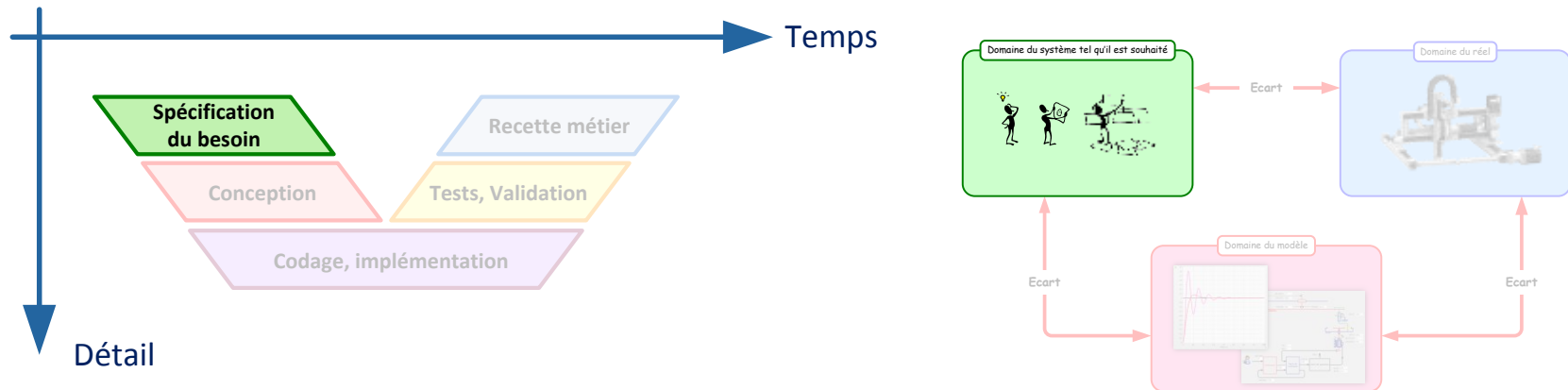
Exemple à travers un axe linéaire

Moyen de satisfaire le cahier des charges :

L'algorithme de correction

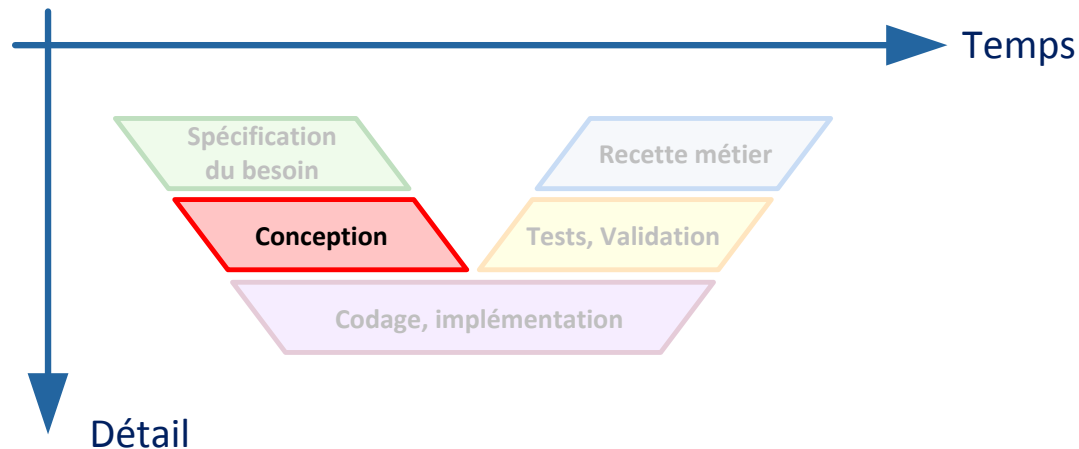


Spécification du besoin



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

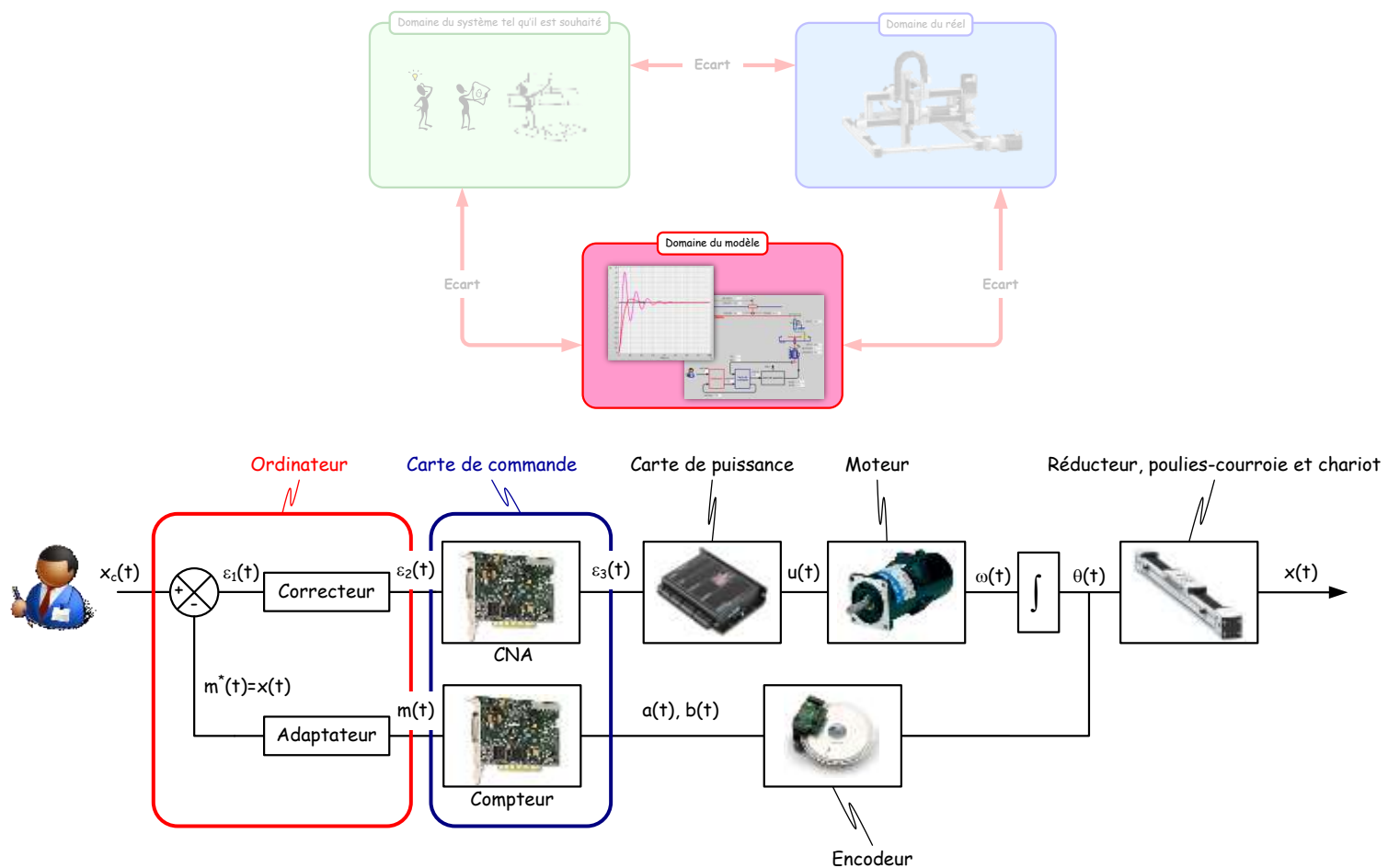


Conception divisée en 4 phases

- **Modélisation**
- Validation du modèle
- Synthèse de correcteur
- Simulations hors ligne

La conception : 1^o phase

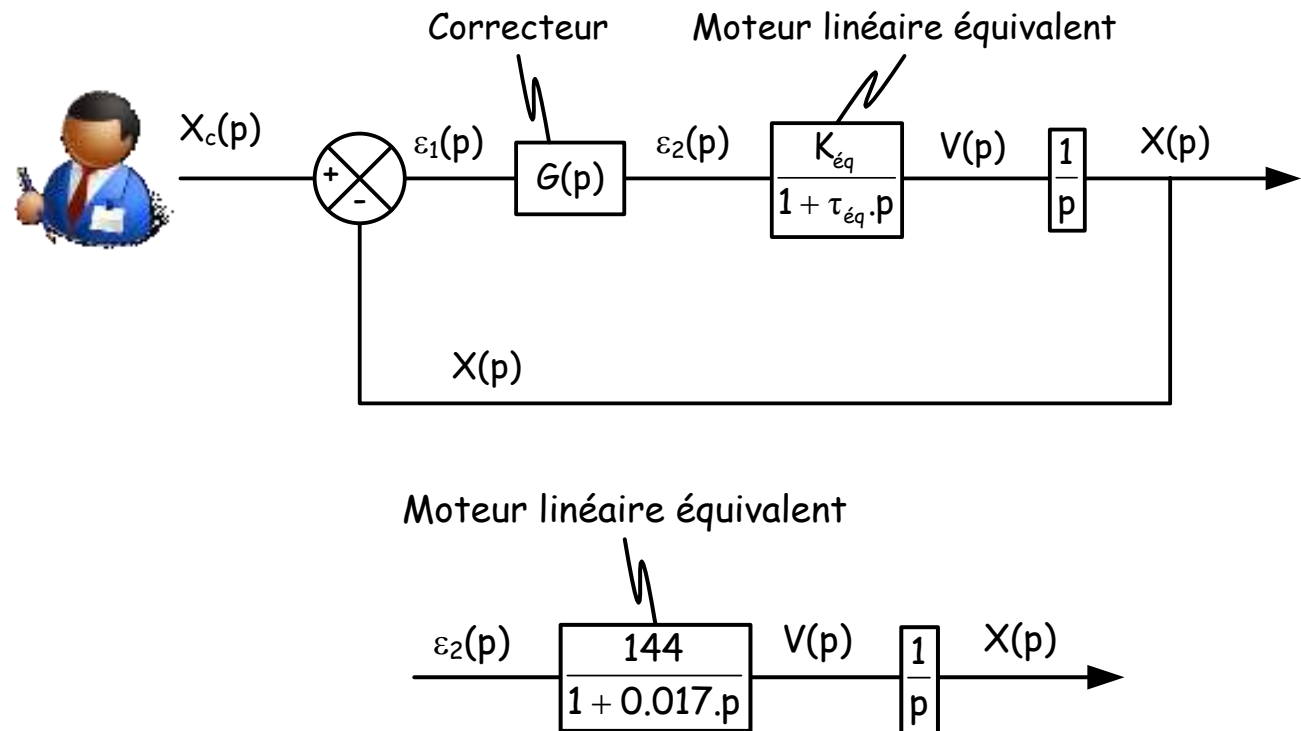
Modélisation



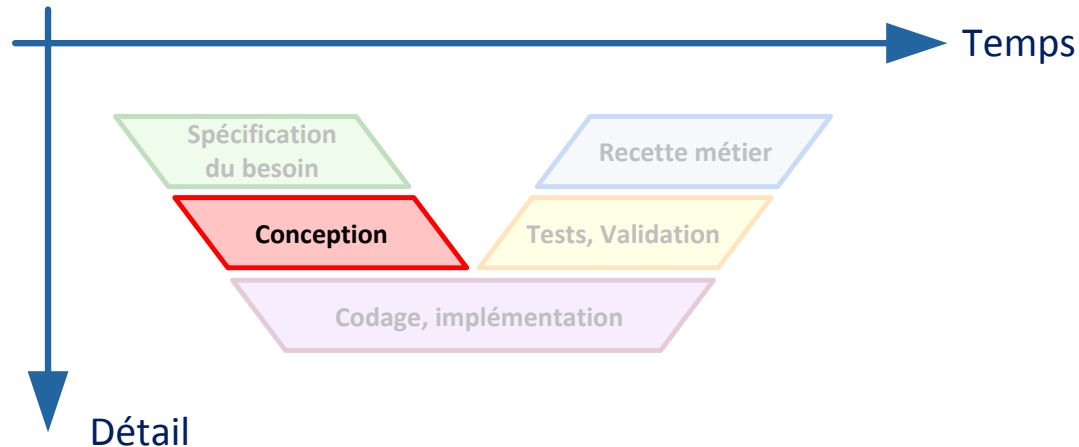
La conception : 1^o phase

Modèle de connaissance de boucle ouverte

Une bonne douzaine d'hypothèses



La conception

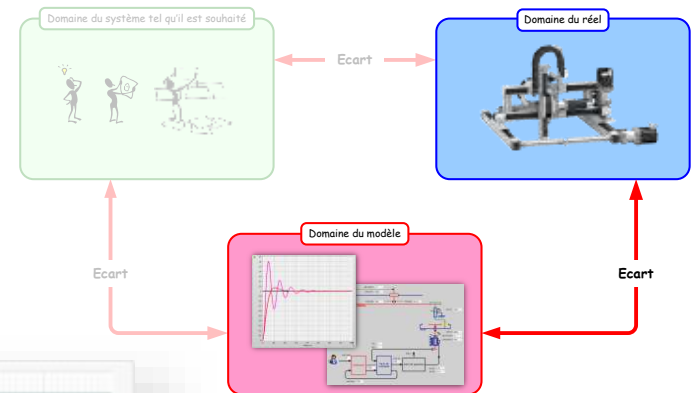


Conception divisée en 4 phases

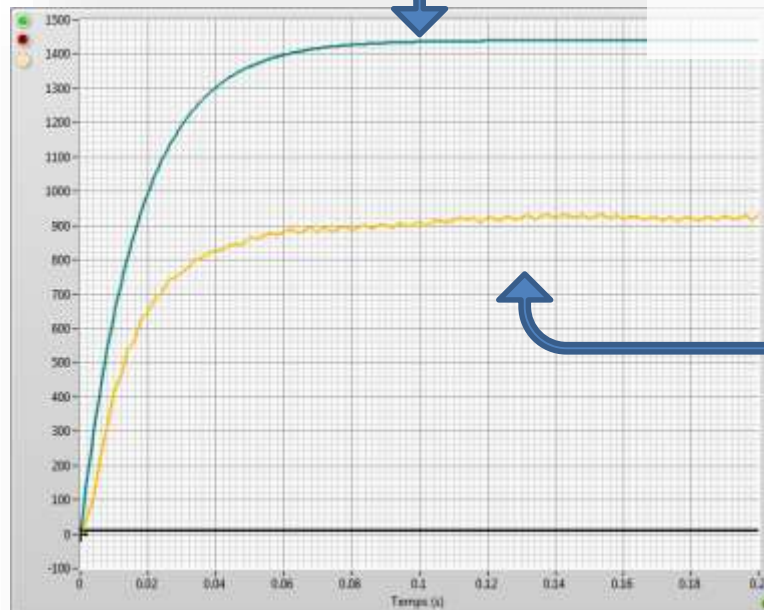
- Modélisation
- **Validation du modèle (de boucle ouverte)**
- Synthèse de correcteur
- Simulations hors ligne

La conception : 2^e phase

Validation du modèle de boucle ouverte



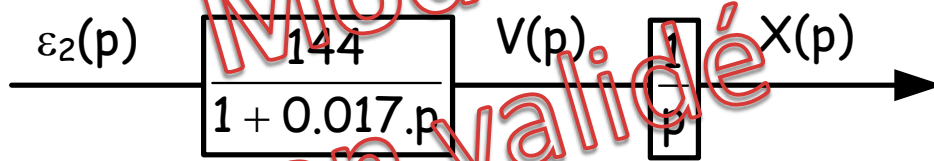
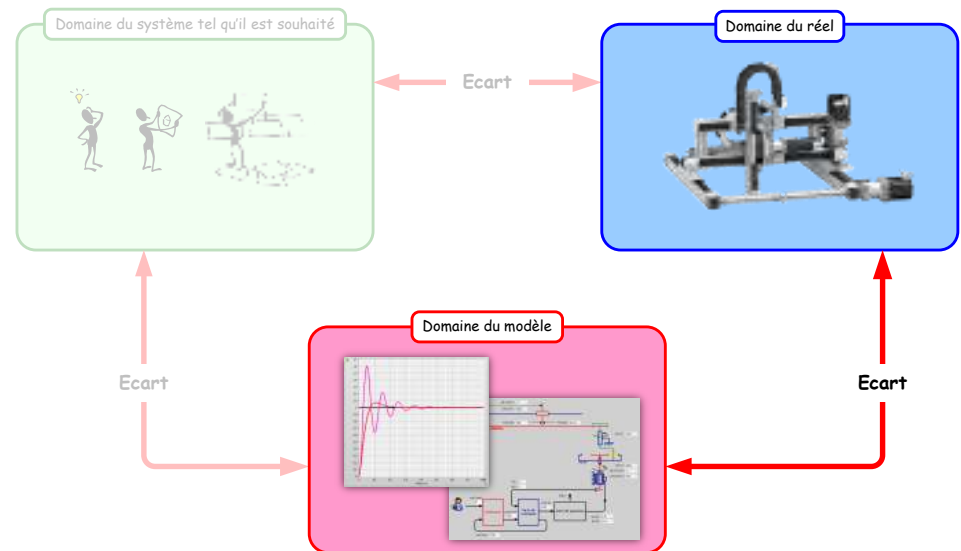
Vitesse (mm/s) issue
du modèle de
connaissance
(Entrée de 10 V en
boucle ouverte)



Vitesse réelle (mm/s)

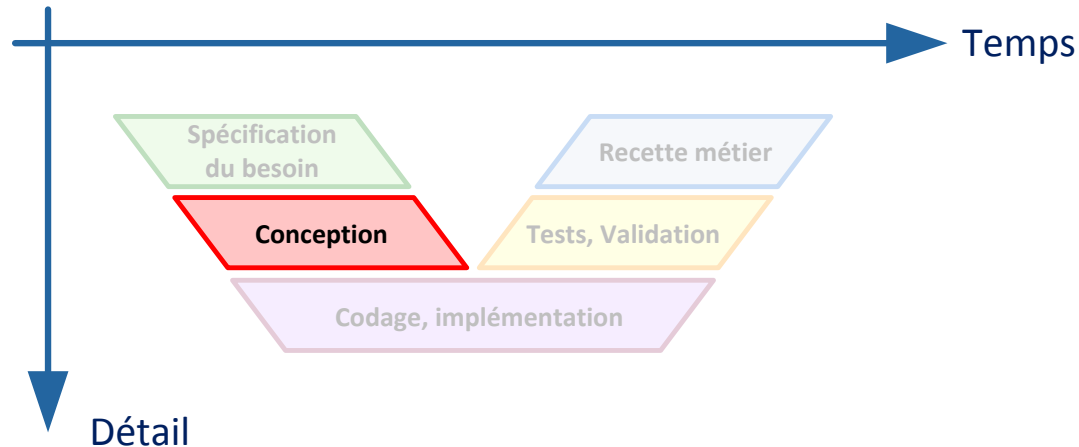
La conception : 2^e phase

Validation du modèle de boucle ouverte



Modèle non validé

La conception

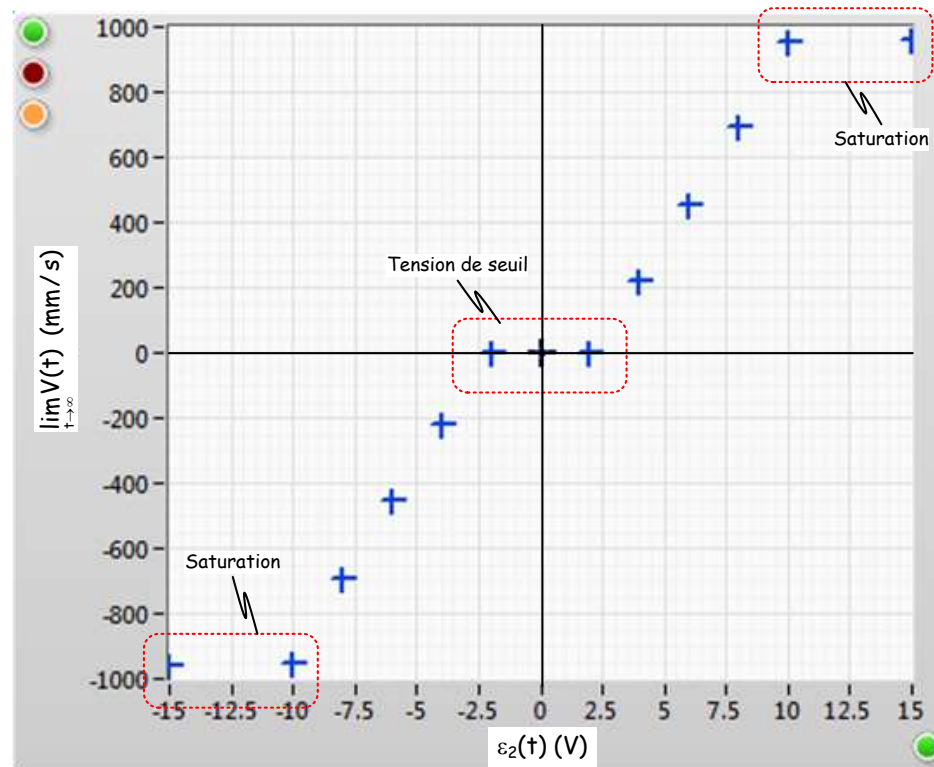


Itérations successives jusqu'à obtenir un modèle réputé « convenable »



La conception : 1^o phase

Modèle de comportement de boucle ouverte

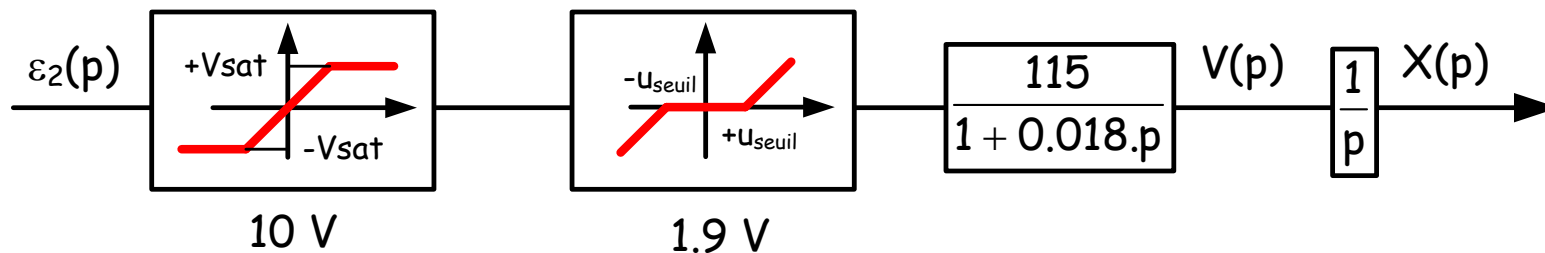


Campagne d'essai : Vitesse (mm/s) en régime permanent pour une tension constante appliquée en entrée (V)

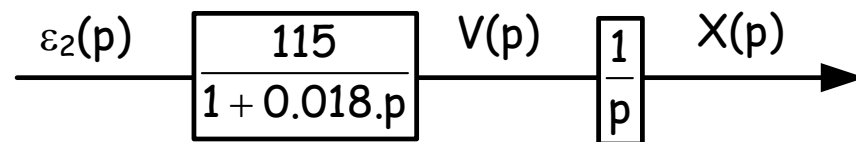
La conception : 1^o phase

Modèle de comportement de boucle ouverte

Non linéaire

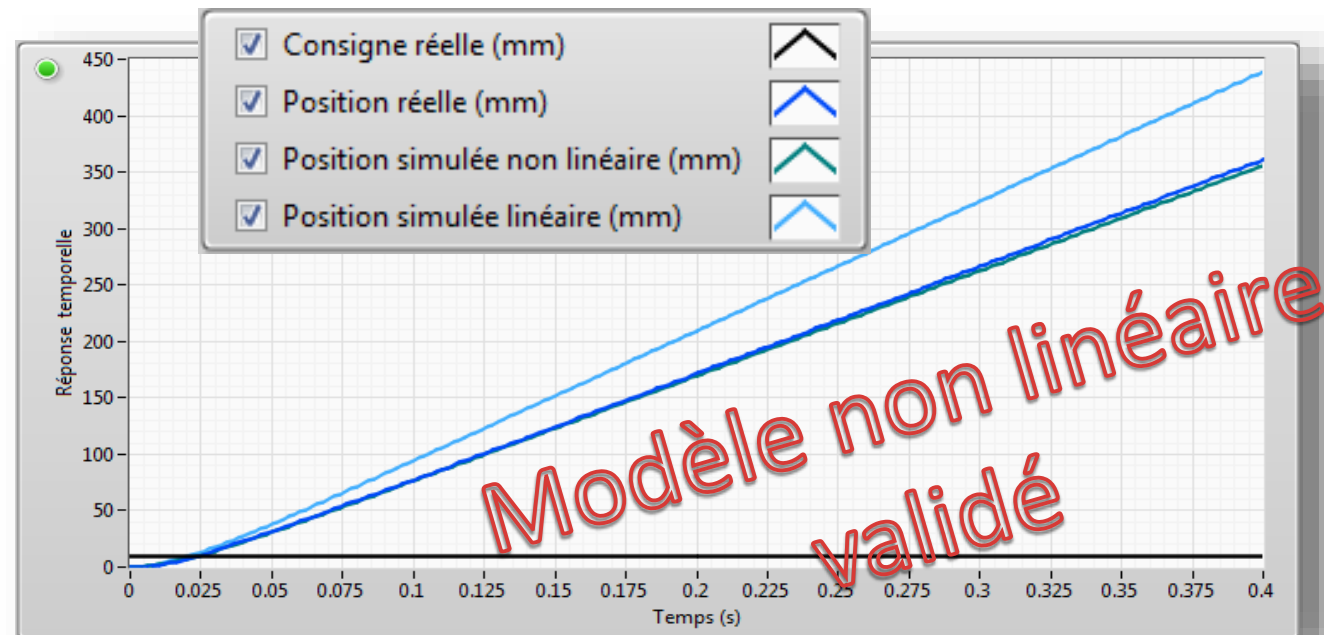
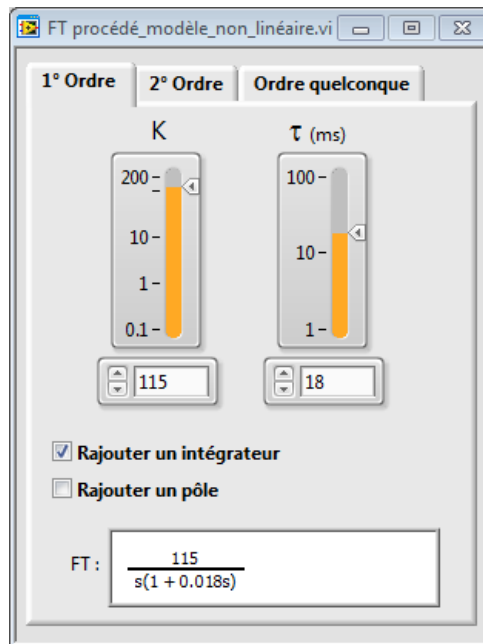
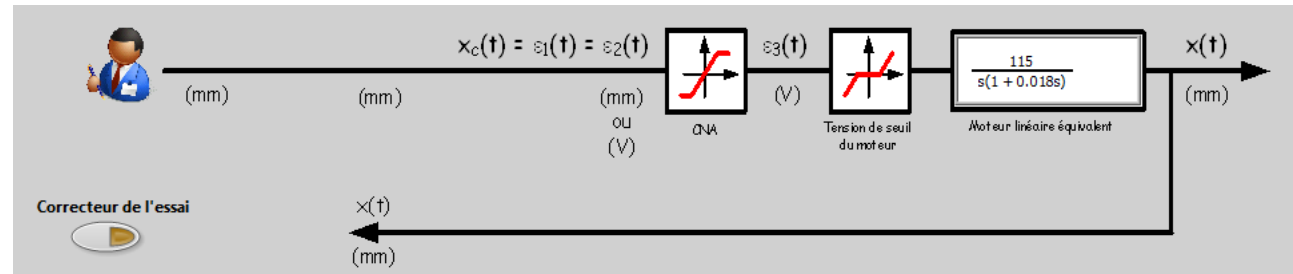


Linéaire



La conception : 2^e phase

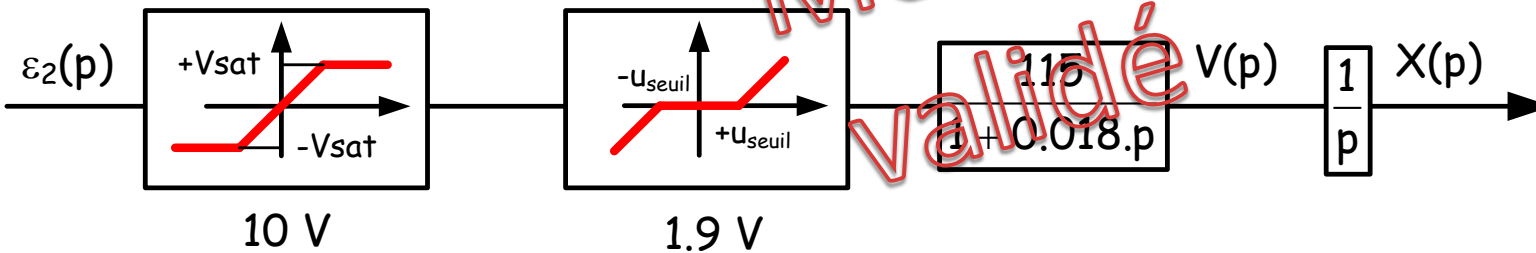
Validation du modèle



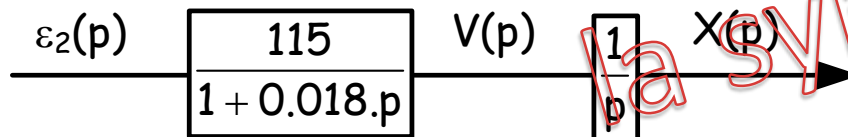
La conception : 2^e phase

Validation du modèle

Non linéaire



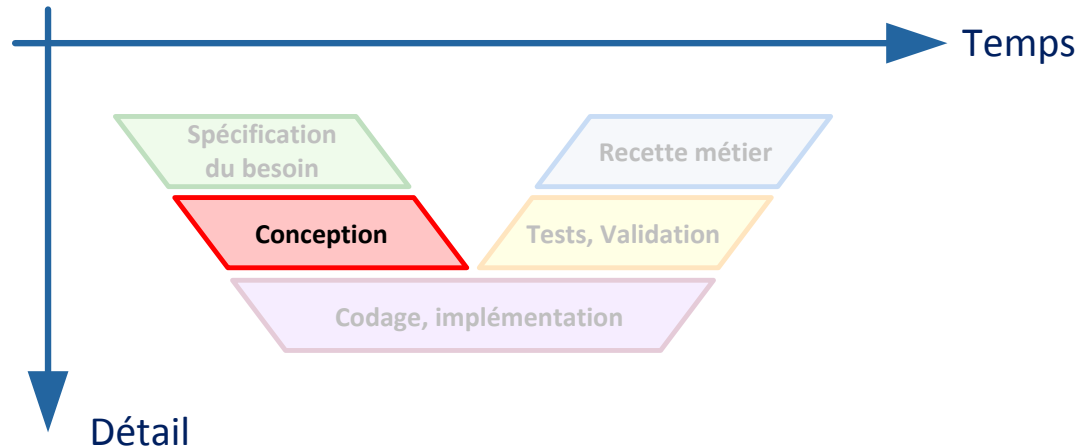
Linéaire



Modèle
validé

Nécessaire pour
la synthèse de
correcteur

La conception



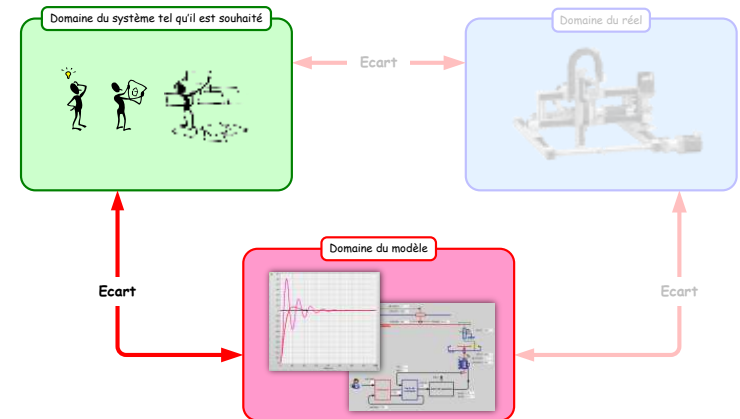
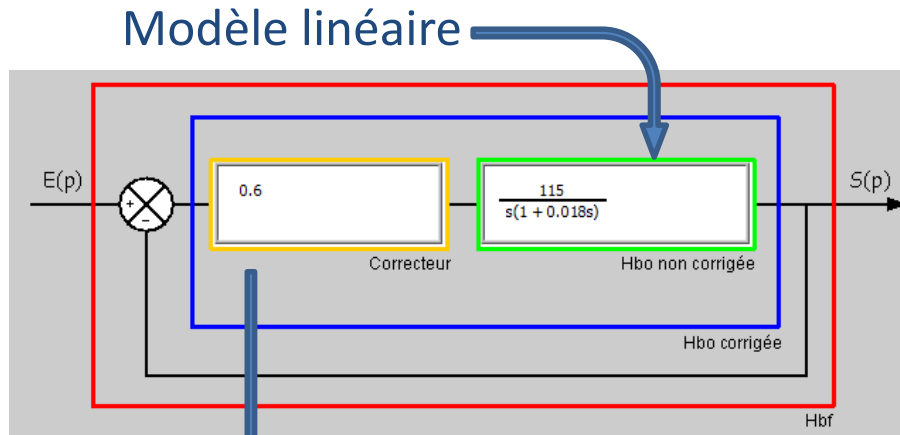
Conception divisée en 4 phases

- Modélisation
- Validation du modèle
- **Synthèse de correcteur**
- Simulations hors ligne

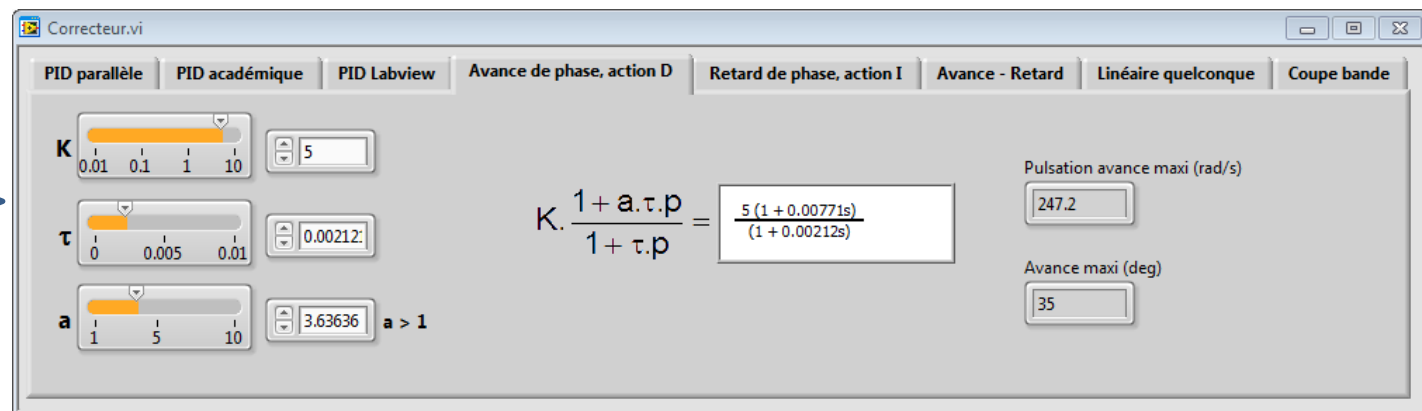
La conception : 3^e phase

Synthèse de correcteur

Choix d'un correcteur à avance de phase par exemple



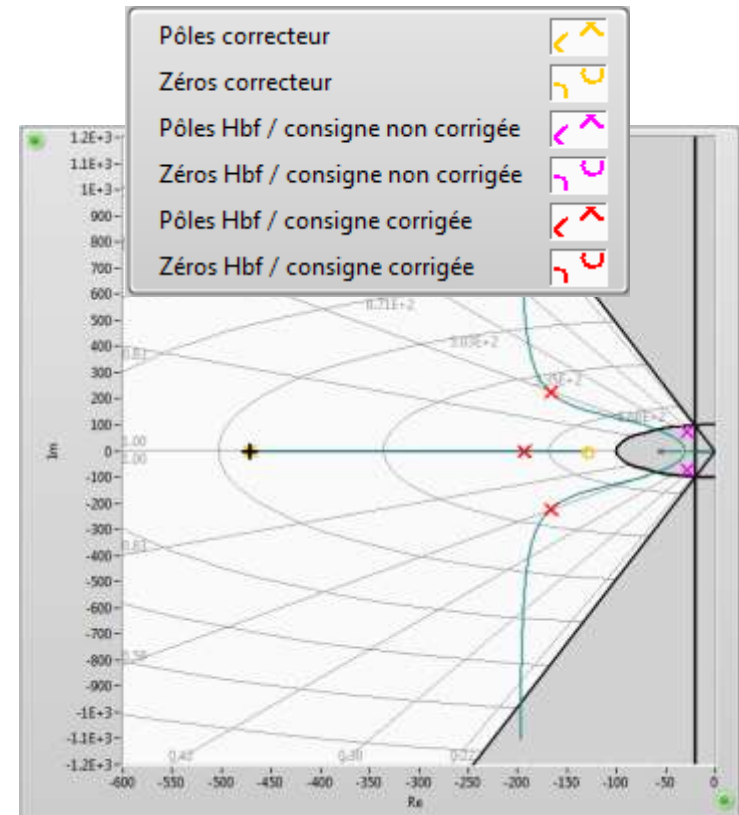
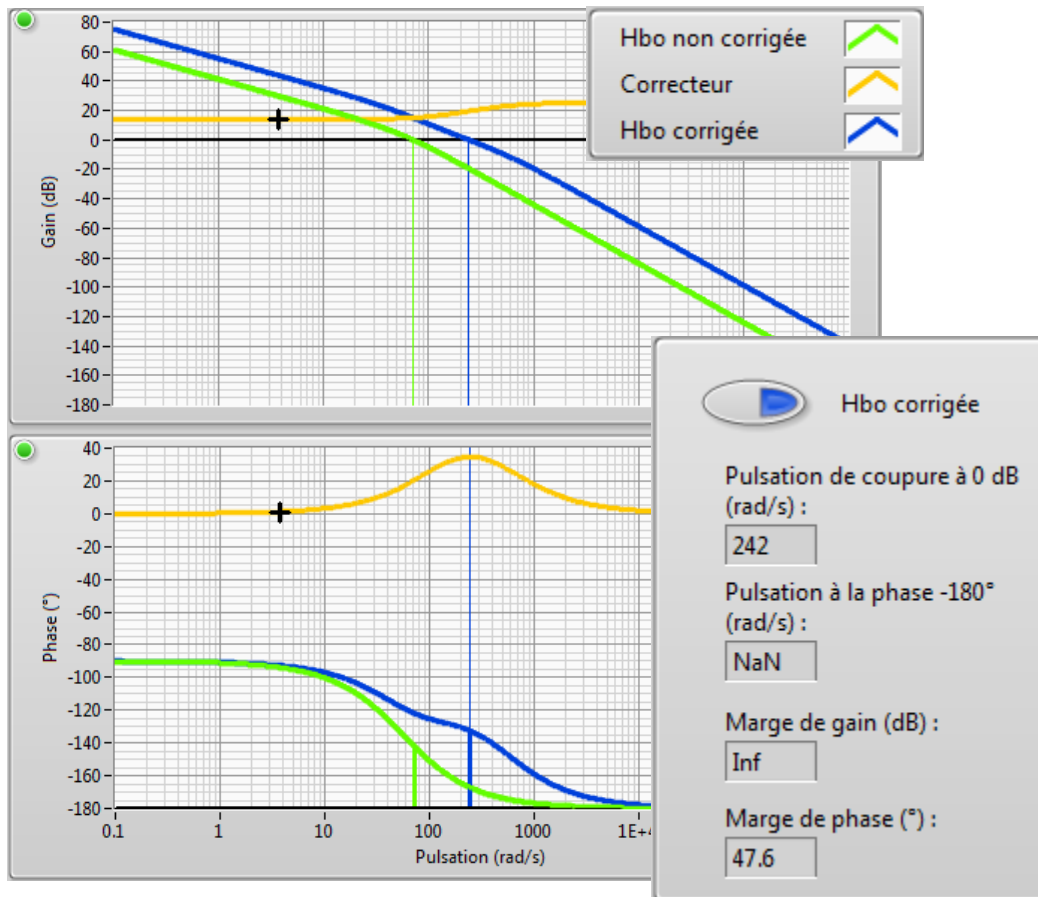
Choix correcteur



La conception : 3^e phase

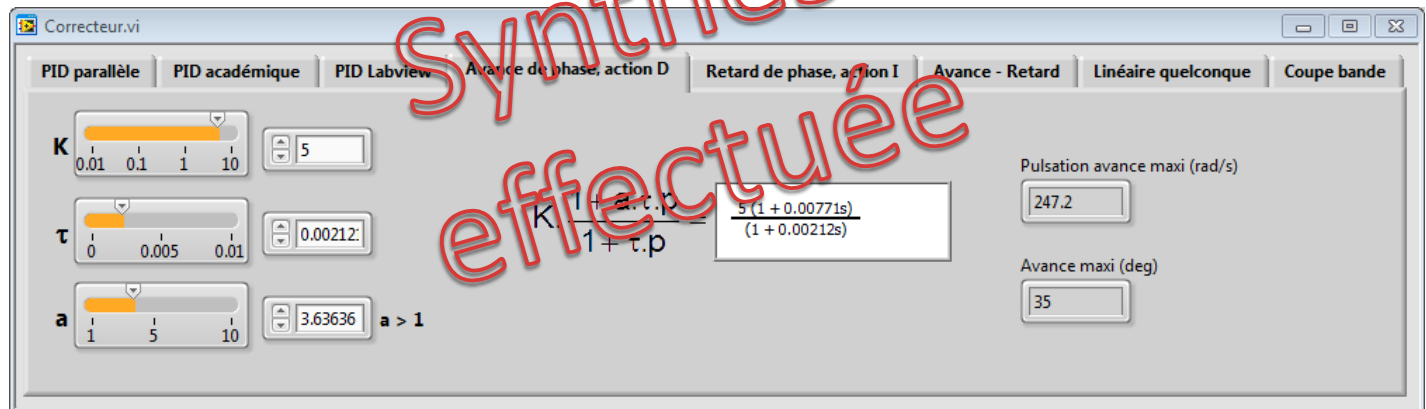
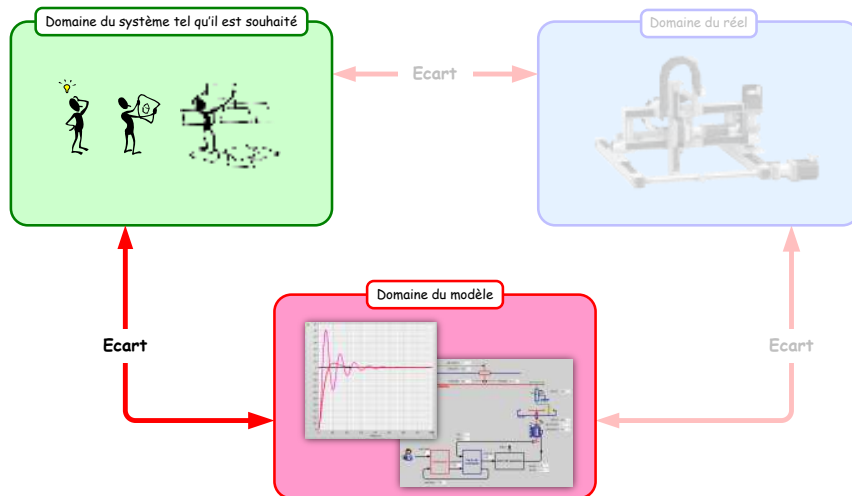
Synthèse de correcteur

Calage dans le domaine fréquentiel ou dans le lieu des pôles

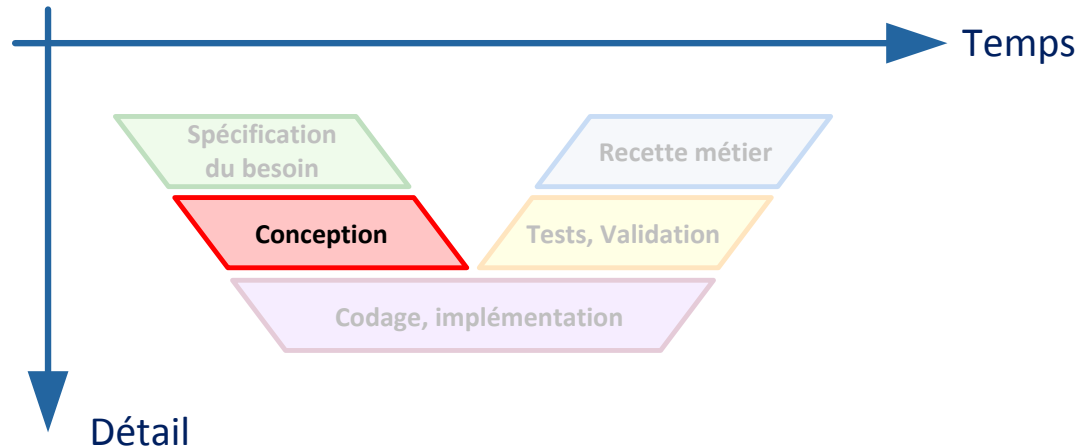


La conception : 3^e phase

La synthèse du correcteur



La conception

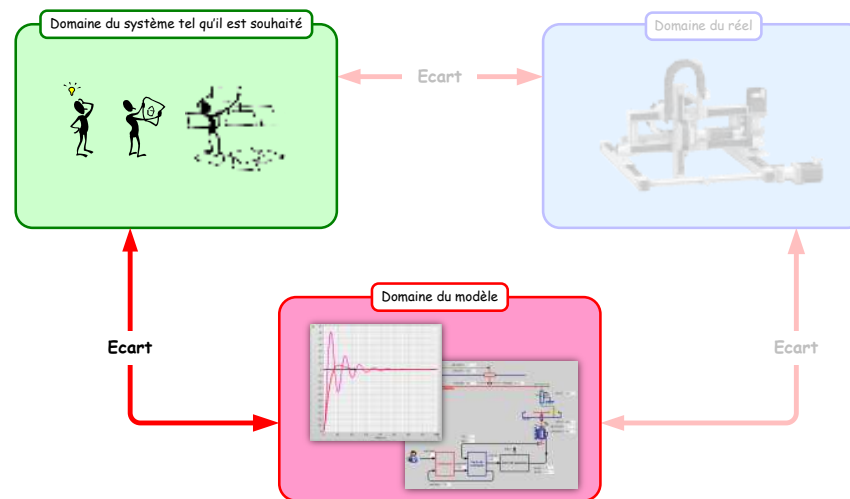


Conception divisée en 4 phases

- Modélisation
- Validation du modèle
- Synthèse de correcteur
- **Simulations hors ligne**

La conception : 4^e phase

Simulations hors ligne



But : Repérer au plus tôt les problèmes liés au logiciel et/ou au matériel

La conception : 4^e phase

Simulations hors ligne

Batterie de tests virtuels :

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

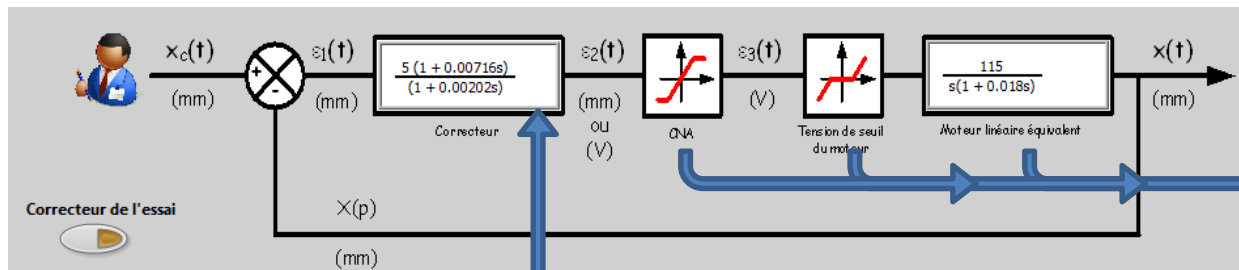
Buts

- 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 : 4^e phase

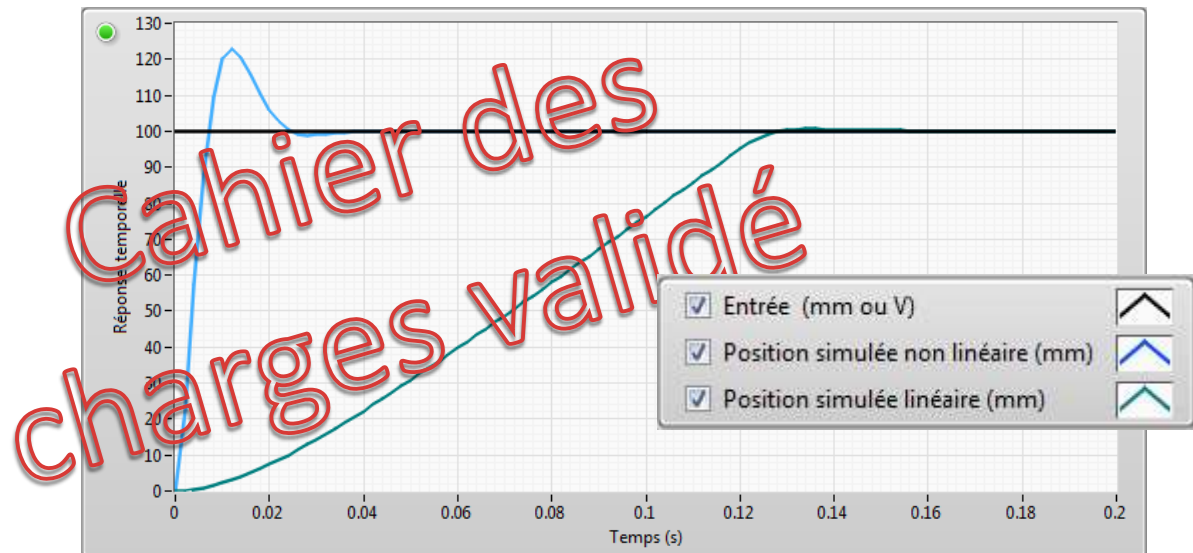
Simulations hors ligne

Simulation de la BF



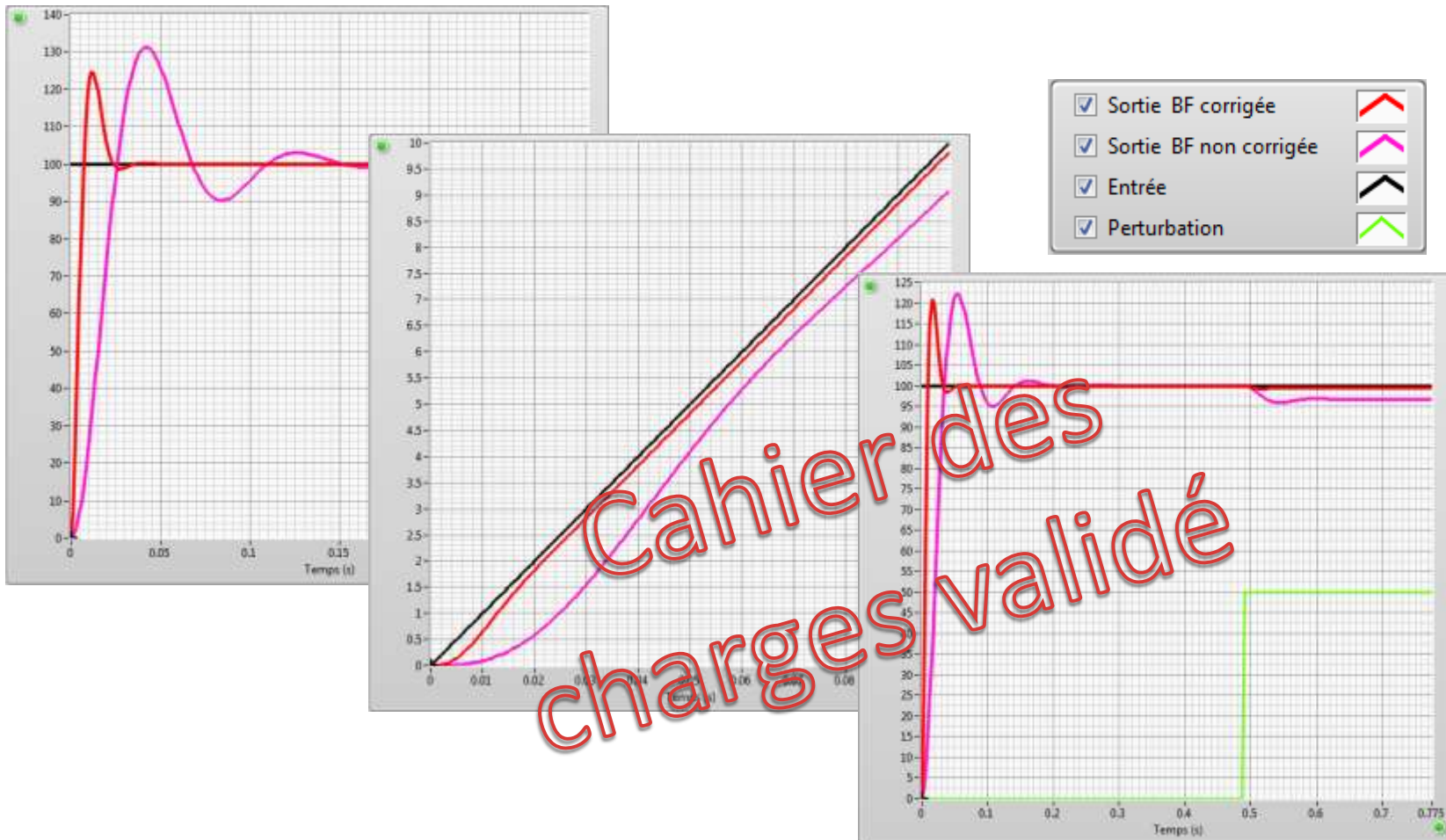
Modèle non linéaire
précédemment validé

Correcteur à avance
de phase précédemment calé

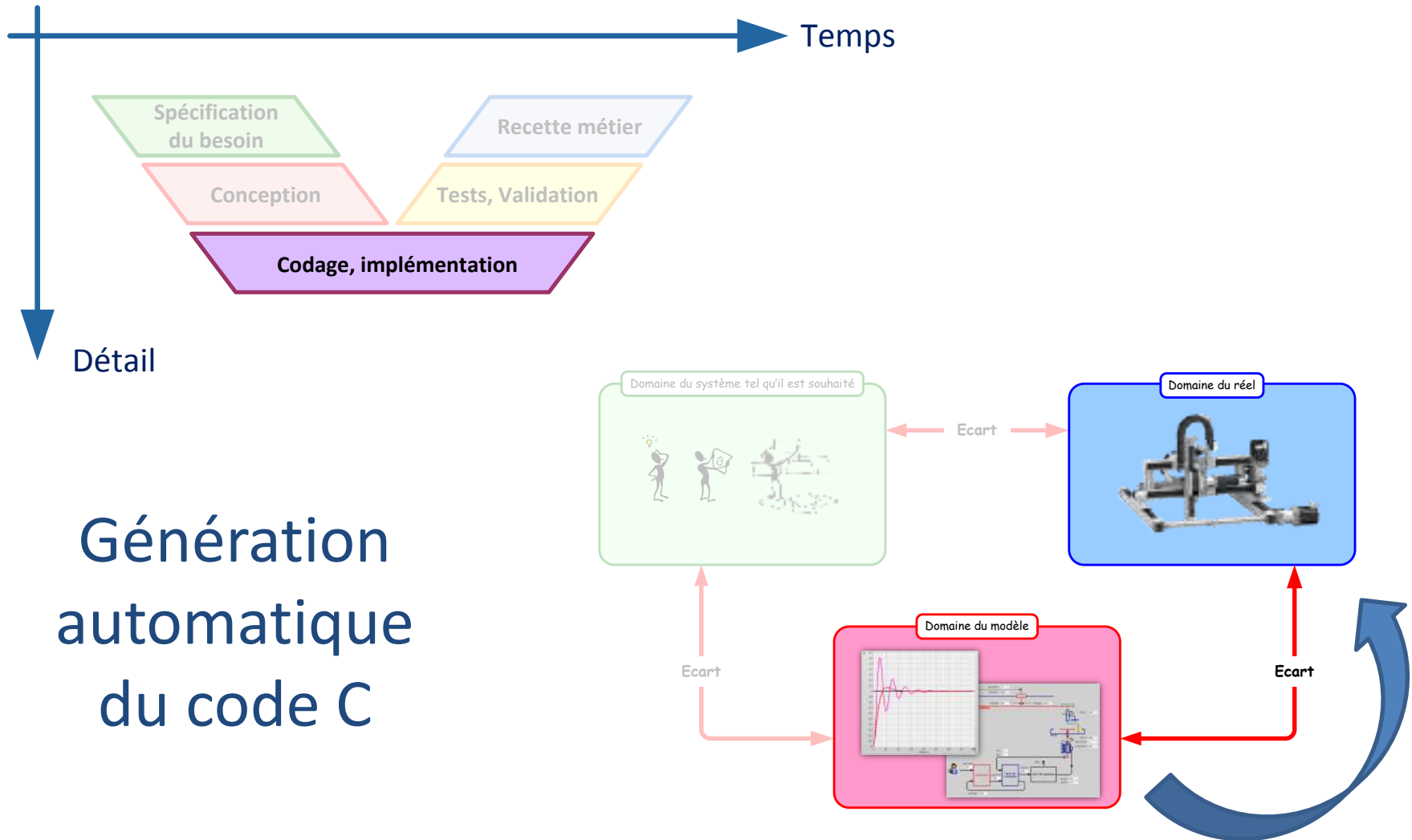


La conception : 4^e phase

Simulations hors ligne : batterie de tests

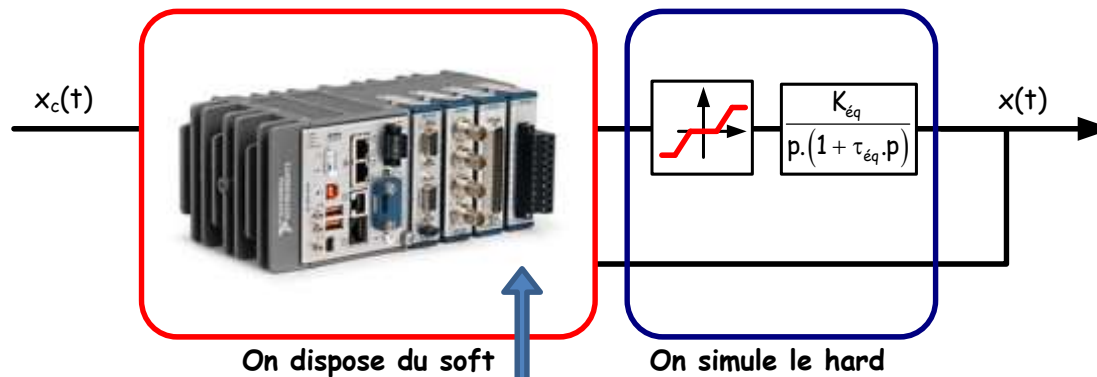


L'implémentation



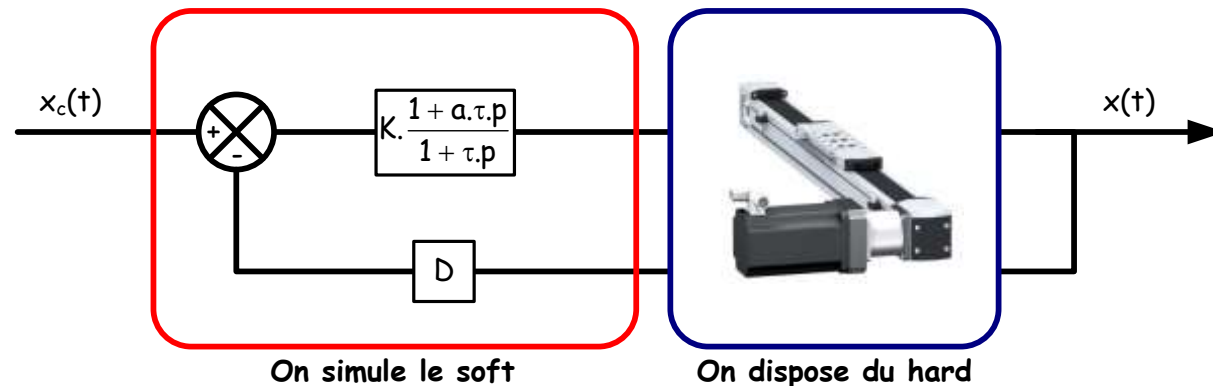
L'implémentation

1° temps : Software in the loop

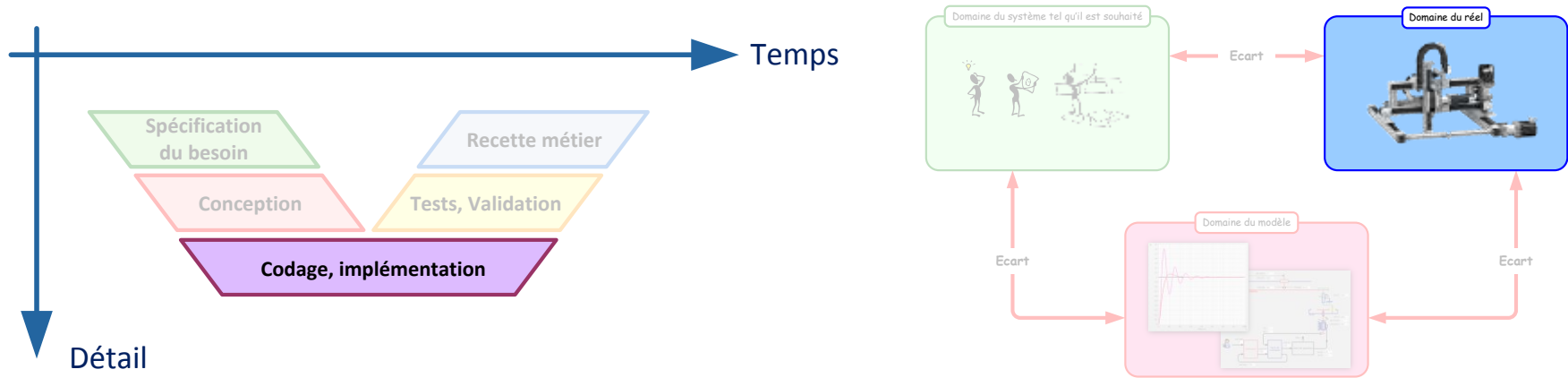


Le soft tourne dans le matériel définitif (la cible) :
 Processeur sous OS temps réel + FPGA par exemple

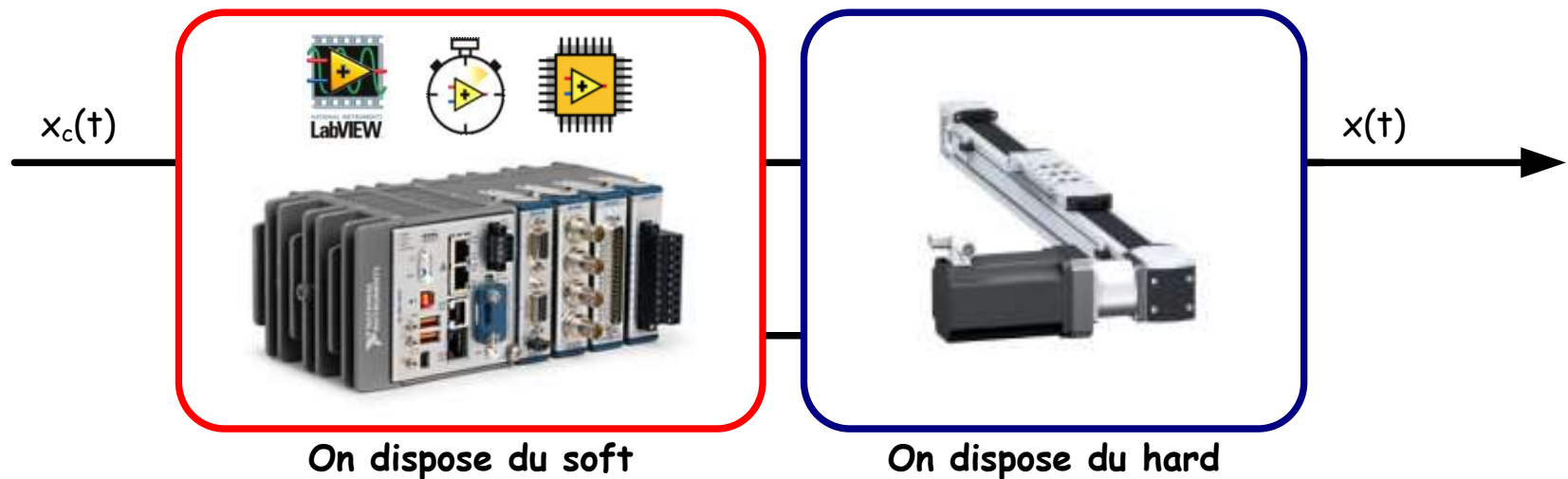
2° temps : Hardware in the loop



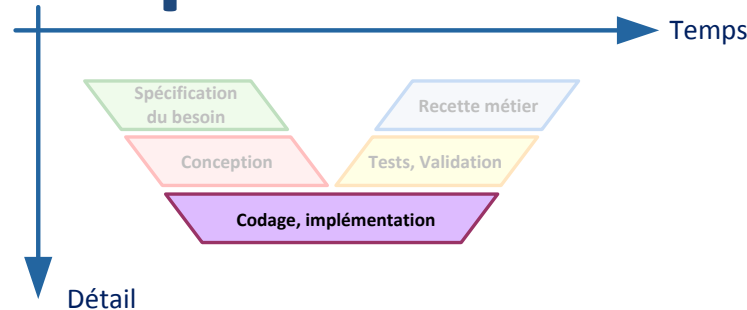
L'implémentation



Tout tourne sur le matériel définitif



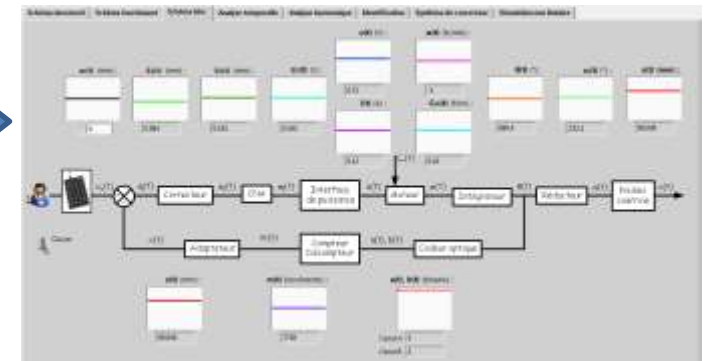
L'implémentation



Sur Control'Drive, le logiciel utilisé, cette étape est automatique, instantanée et transparente dès que l'on quitte l'onglet « Synthèse correcteur »



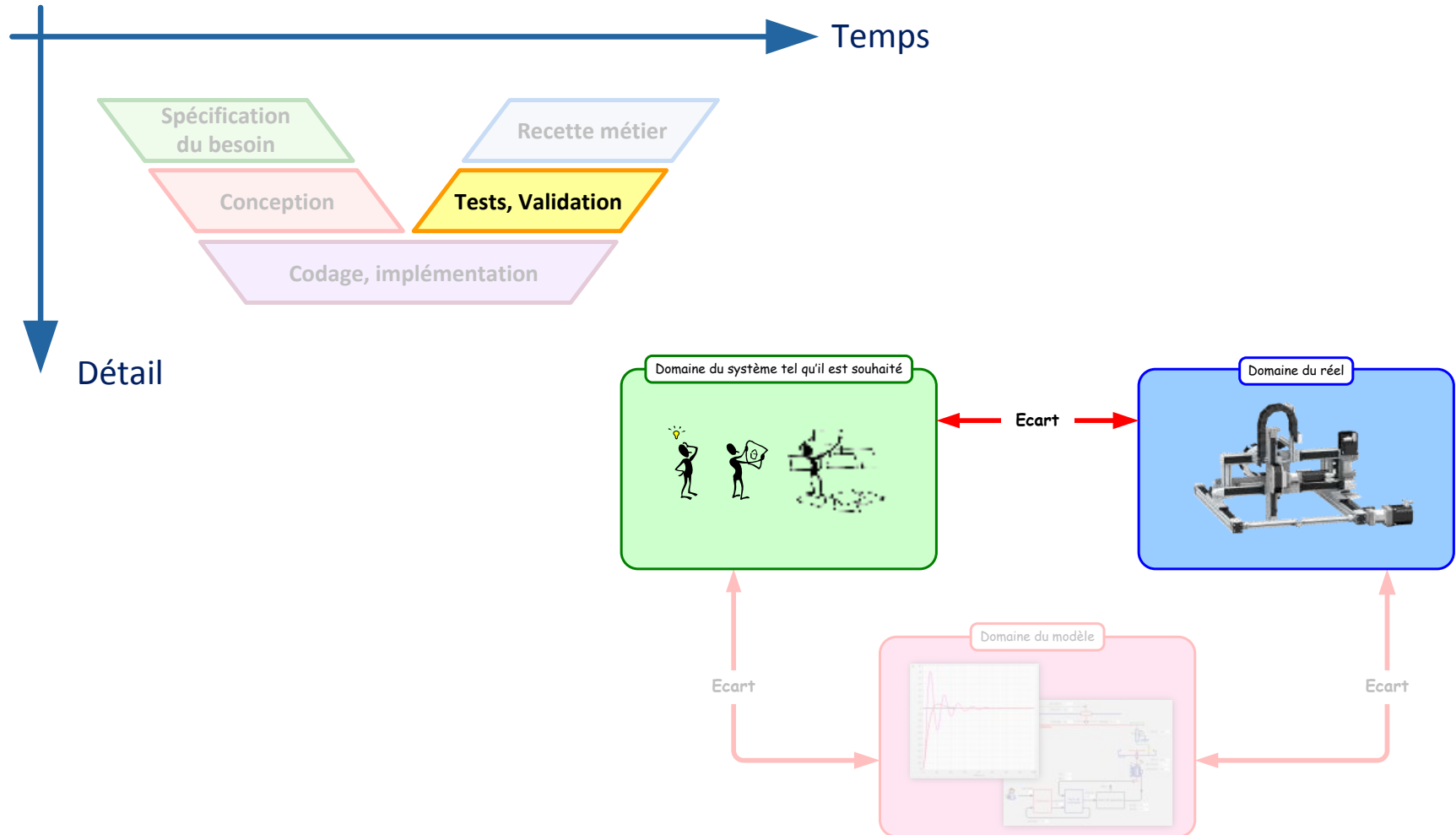
Correcteur
mis en service



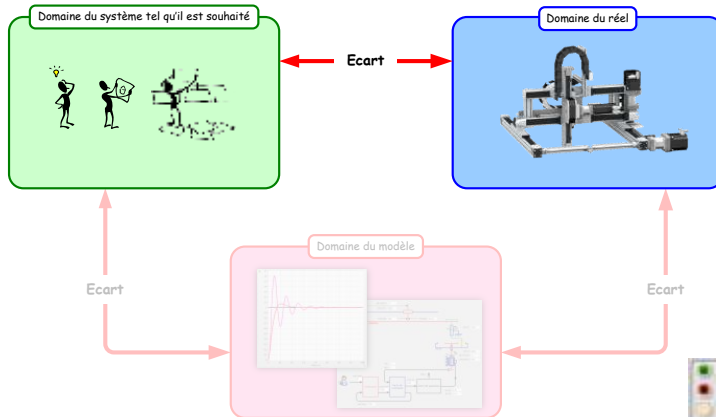
Cible = processeur du PC à la fréquence d'échantillonnage de 1 kHz



Test et validation

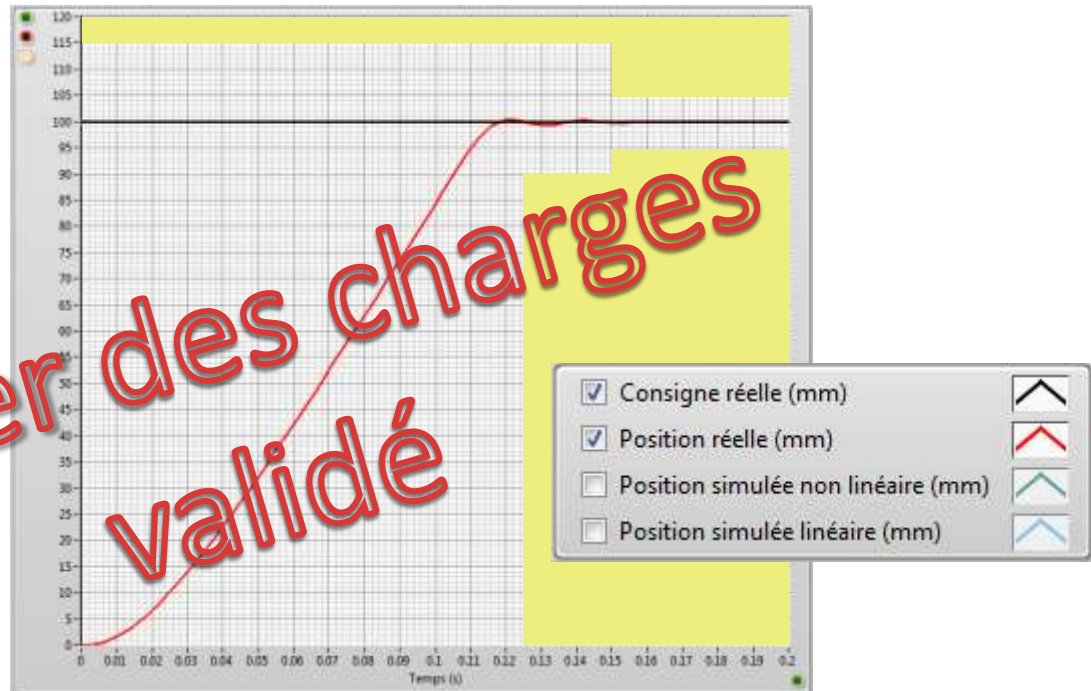


Tests et validation

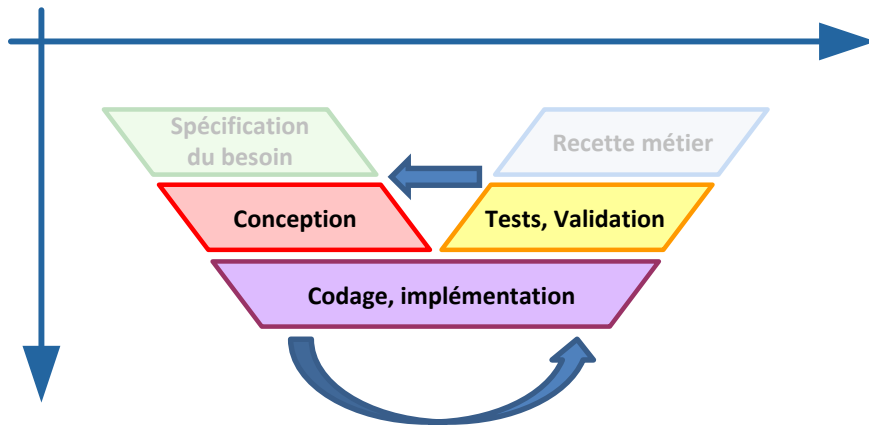


Réponse réelle sous une consigne en échelon de 100 mm

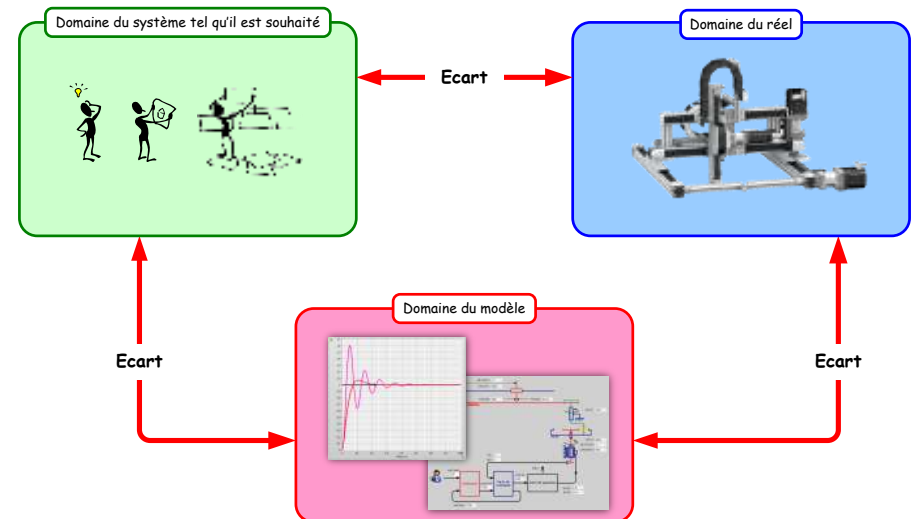
Cahier des charges validé



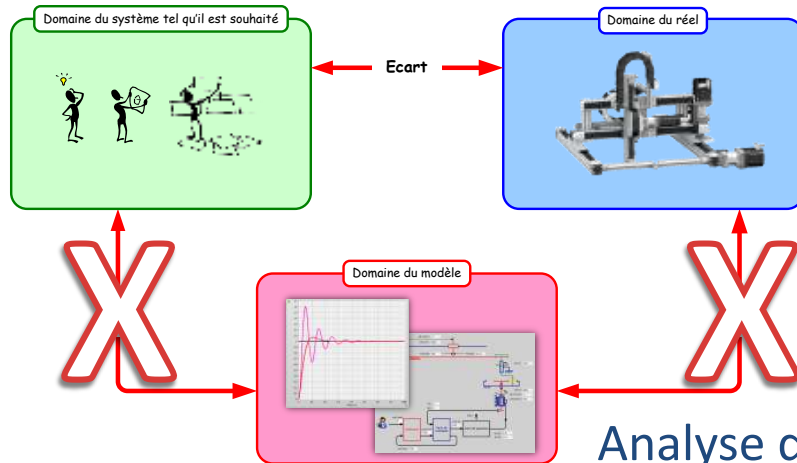
Test et validation



Itérations quasi-immédiates
compte-tenu de l'environnement
logiciel unique qui permet de mener
toute la démarche du
Model-Based Design

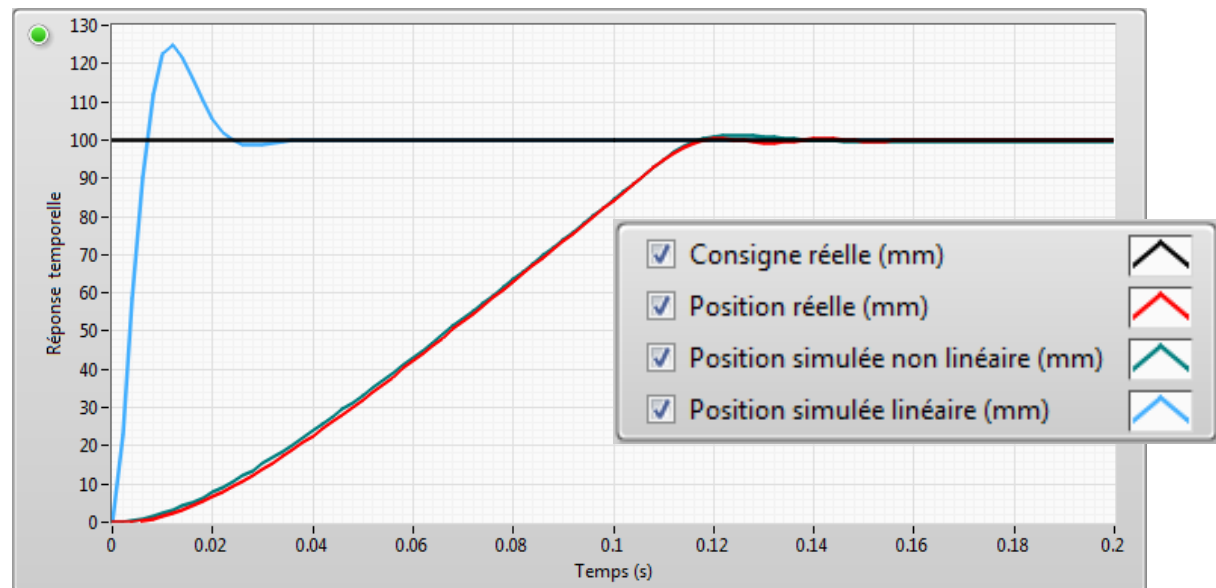


Tests et validation

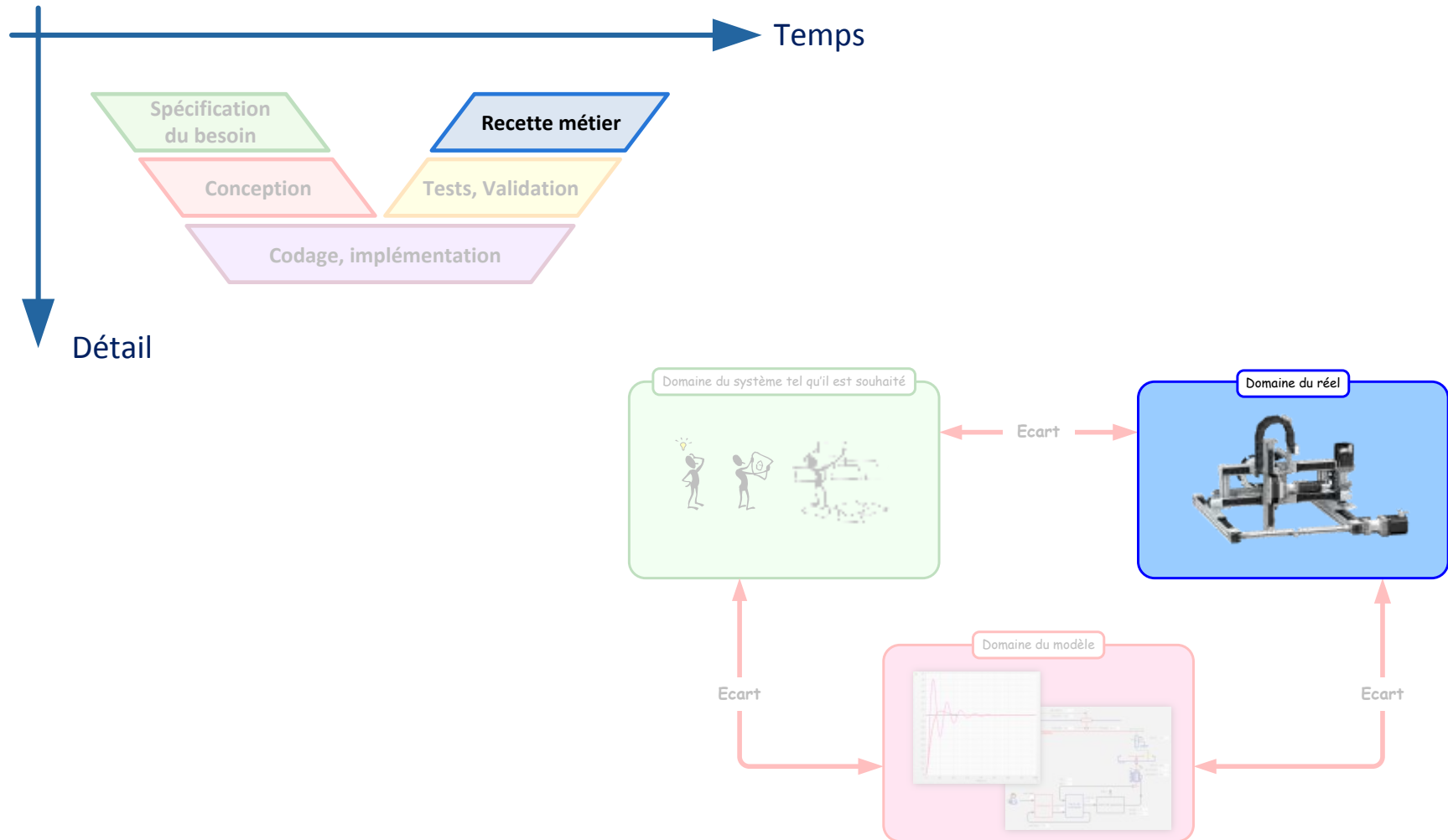


Analyse des trois écarts possibles : modèle, réel, souhaité

L'analyse des écarts liés au domaine du modèle n'intéresse plus personne (sauf raisons pédagogiques)

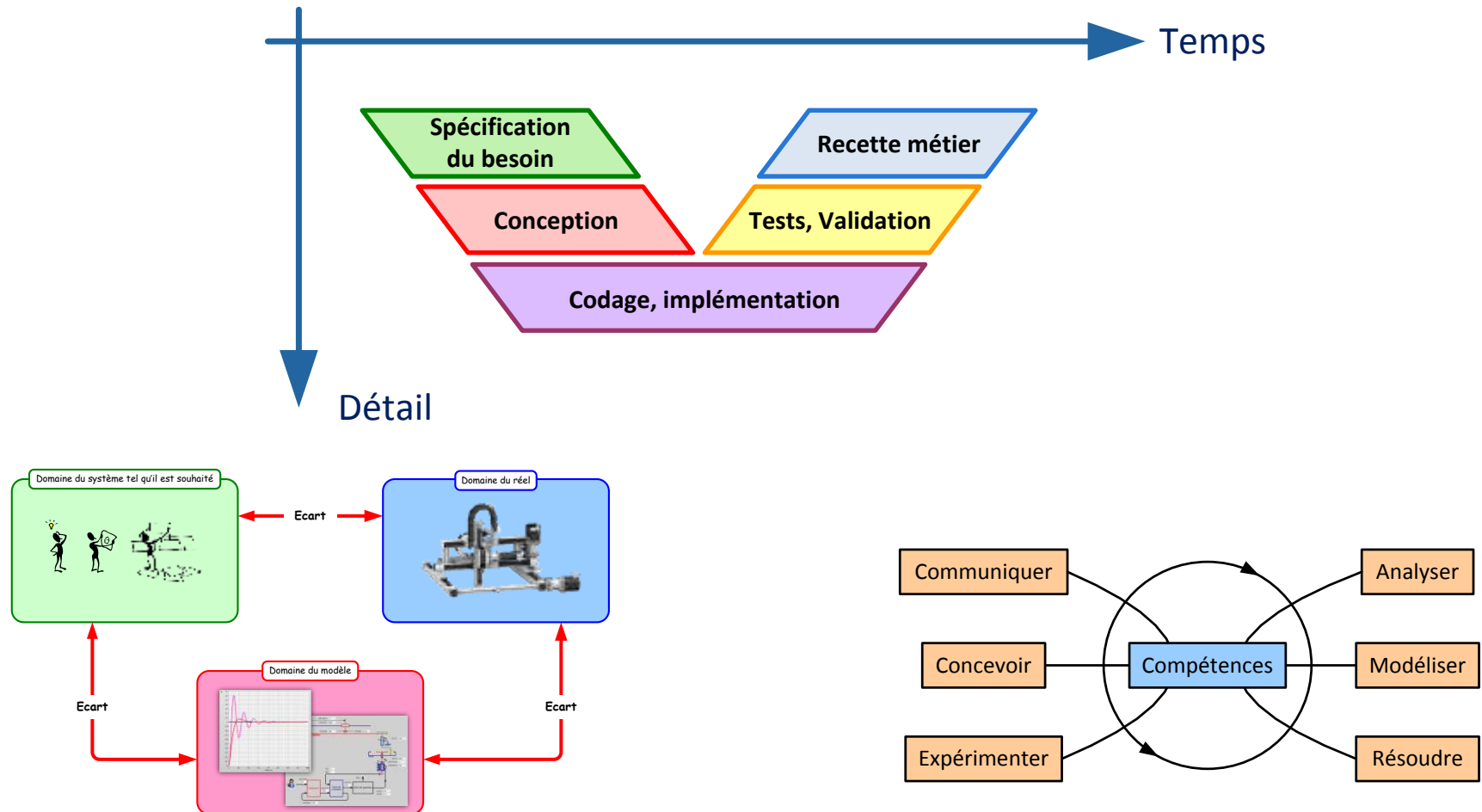


Recette métier



Le Model-Based Design

La quadrature du cercle





Bénéfices pour les étudiants

De la méthode Model-Based Design

- Mener toutes les activités dans un environnement logiciel unique
- Intégrer les activités des étudiants dans une démarche industrielle
- Donner un sens à la démarche d'évaluation des écarts



teaching sciences
for innovation

Transparent en +

Le Model-Based Design vs La méthode « Generate and test »

