DIFFEDGE

Un différentiateur exact de modèles hybrides décrits sous forme de schéma-blocs

¬ **Un automate pour l'optimisation des modèles**

John MASSE : APPEDGE (www.appedge.com)
Thierry CAMBOIS : PSA Peugeot Citroën

Diffedge : Innovation => Un différentiateur exact de modèle hybrides sans dégradation de la modélisation

- Reste dans le même environnement graphique et logiciel.
  - On s'appuie et on profite de la même stratégie d'intégration pour le traitement des discontinuités. (pas de temps et ordre variables)
  - ⇒ La dérivée peut être visualisée en tout point du schéma.
  - ⇒ Aucune manipulation ou traduction du modèle n'est à faire
    - Évite la réécriture du modèle ou la simplification du modèle dans d'autre environnement
- Donne une dérivée 1ère, seconde, etc. de qualité par rapport aux paramètres.
  - Utilisation conjointe et efficace des techniques formelles et numériques ⇒ Possibilité d'utiliser des algorithmes d'optimisation du type gradient avec contraintes.

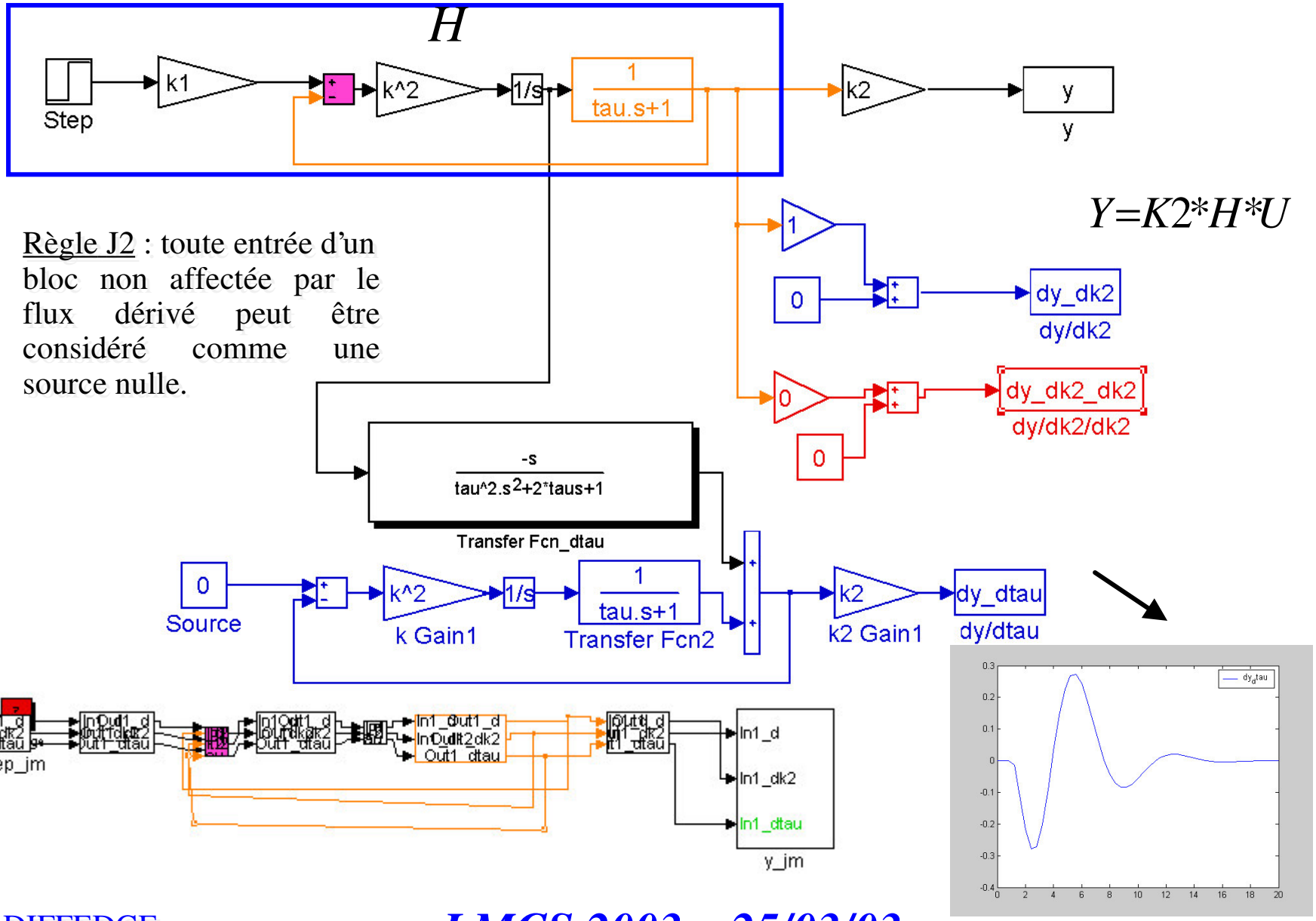
Principe de Diffedge

- **Objectif** : Différentiation formelle de schéma-blocs par rapport à leurs paramètres.
- **Idée** : Rester au niveau de la représentation graphique pour différentier le modèle pour conserver l'orientation des flux de données.
  - On utilise les règles JM qui sont issues des :
    - Propriétés mathématiques des schéma-blocs
    - Règles de différentiation.

Il existe 7 règles ⇒ Diffedge les automatise.

L'utilisation de ces règles revient à augmenter graphiquement le schéma originel du schéma dérivé (ou du flux dérivé) et à intégrer les deux simultanément.

Diffedge : La Méthodologie



Règle J2 : toute entrée d'un bloc non affectée par le flux dérivé peut être considéré comme une source nulle.

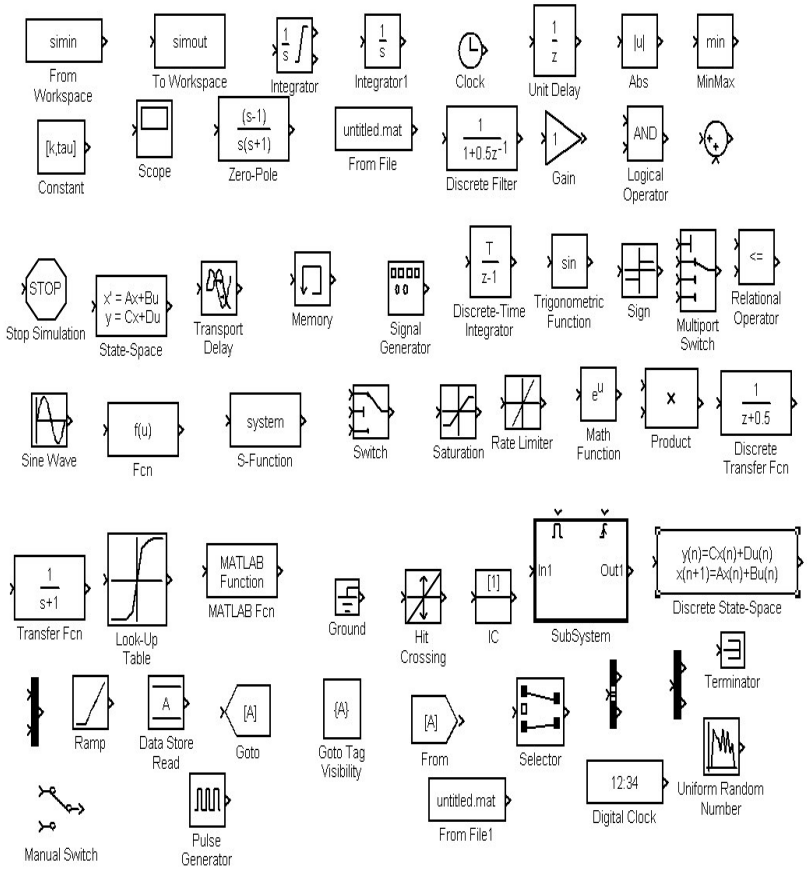
Diffedge : Différentie formellement la plupart des blocs.

<u>Il supporte :</u>

Sources, Sink, Continous, Discrete, Math, Functions & tables, Nonlinear, Signal & Systems Stateflow,

<u>Par exemples les blocs du type :</u> *multiplexeurs, enable, trigger, logique (and, or,…) , goto, tables, intégrateurs saturés, etc.*

Différentie numériquement certains blocs lorsque la dérivée analytique n'est pas connue.



Diffedge : L'optimisation des modèles facilitée et sûre.

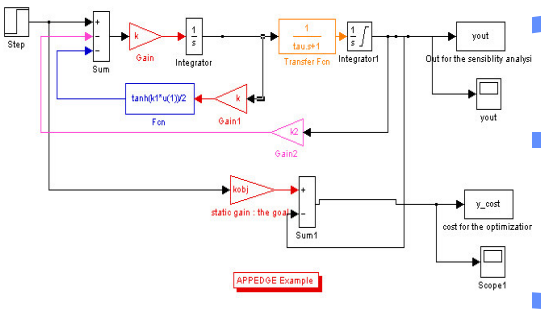


schéma-blocs

Différences finies

- Mauvaise qualité de la dérivée
- Choix du epsilon ?
- Évènements/discontinuités

⇒ Échec de la convergence

Méthodes sans gradient (boîte noire)

Confiance dans les paramètres obtenus?
Nombre important de simulations
Efficacité ? Optimum ? Contraintes ?

Ré-écriture du modèle dans un autre environnement (logiciel formel) (différentiation automatique de code)

Dégradation du modèle (linéarisation)
Fastidieuse/lourde
Maintenance ? Modification ?

DIFFEDGE

Automatique / systématique, rapide et fiable

⇒ Pas d'erreur de manipulation / modification ⇒ Pas de maintenance du modèle dérivé (modèle dérivé jetable)

⇒ Calcul du gradient, hessien ⇒ améliore les temps de convergence

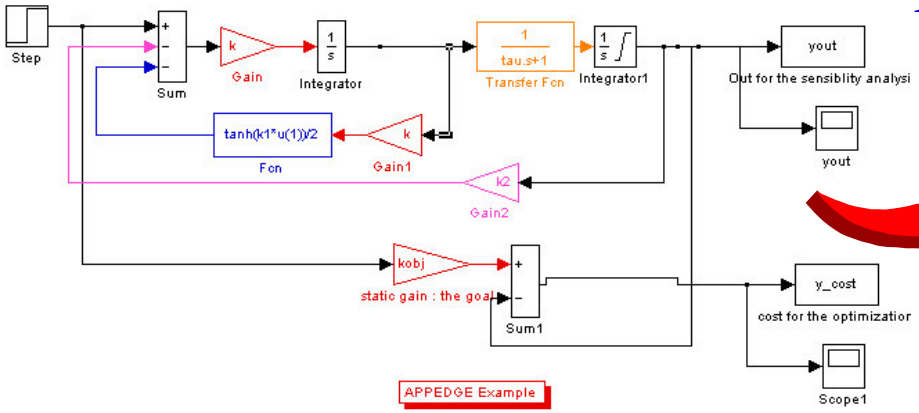
⇒ Minimise les réglages des optimiseurs ⇒ ~~Epsilon~~

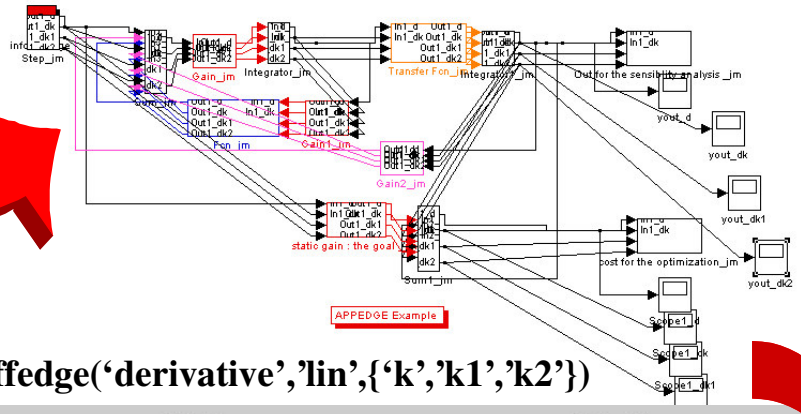
⇒ Scripts de connexion automatique aux modules d'optimisation

Diffedge : Domaines d'application

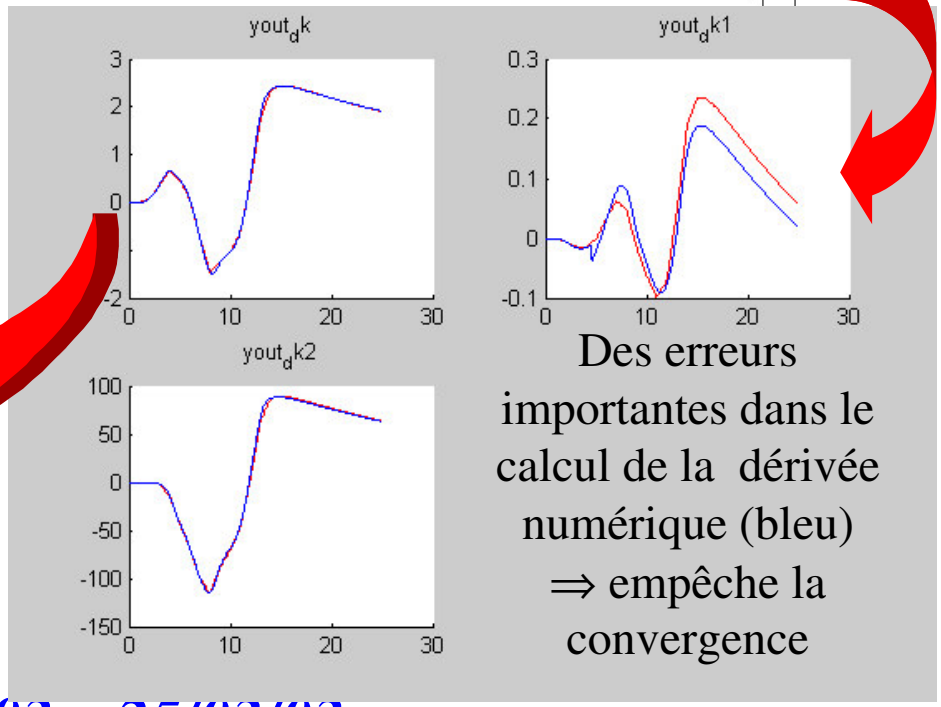
- ν Détection défaillance, diagnostic, surveillance
  - λ Modèle dérivé embarqué (optimisation temps réel)
- ν Optimisation paramétrique de modèles
  - λ Identification et recalage de modèles
- ν Analyse de sensibilité paramétrique (Caractérisation statistique des modèles (sorties))
    - ♣ **L(Pi)=N(m**pi**;** σpi) ⇒ **L(Yi)=N(m**yi**,** σyi**)**
    - ♣ Dimensionnement ⇒ intervalles de confiance (MIMO)
  - λ Domaine de fonctionnement et calibrage des signaux pour le temps réel

Diffedge : Un exemple fortement non linéaire et discontinu : une optimisation réussie



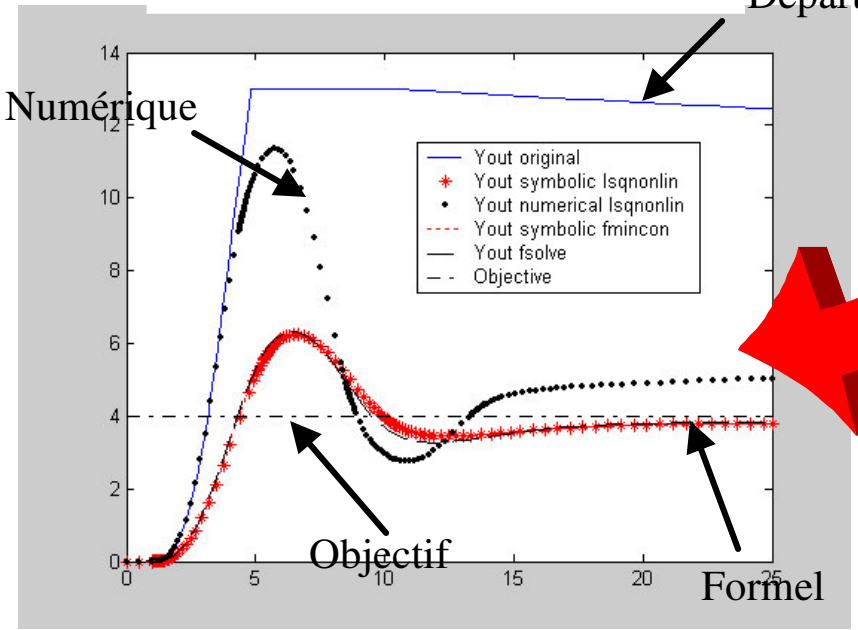


Diffedge('derivative','lin',{'k','k1','k2'})

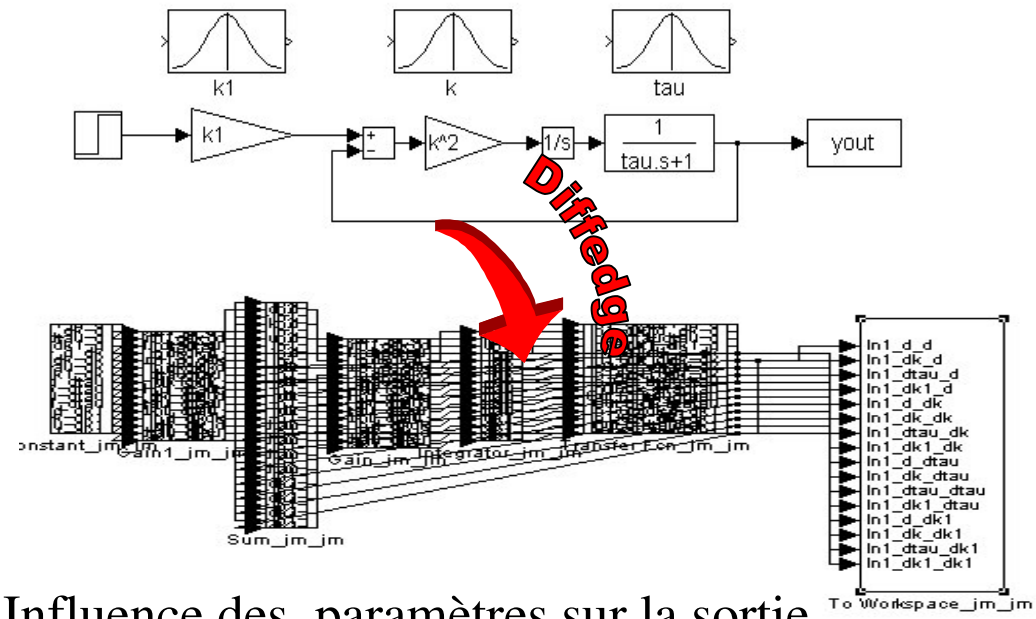


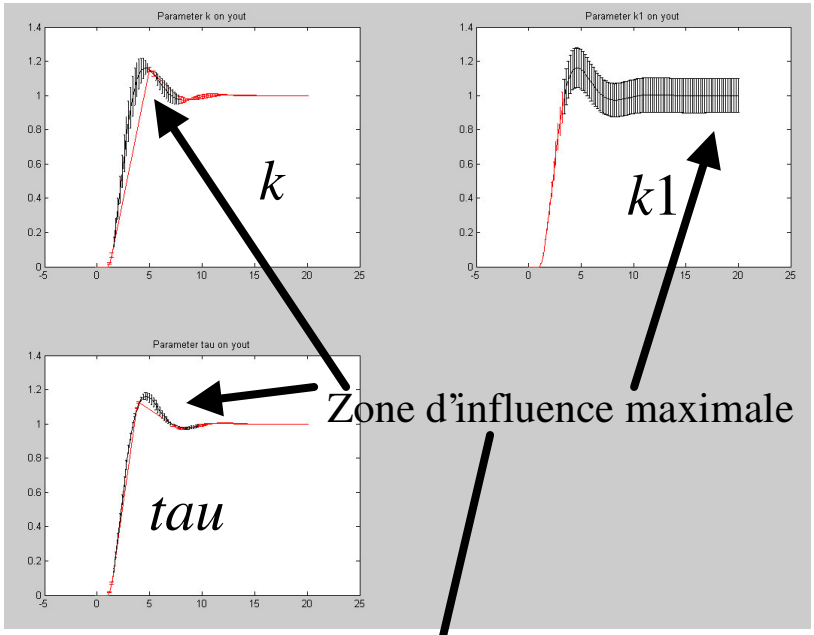
Des erreurs importantes dans le calcul de la dérivée numérique (bleu) ⇒ empêche la convergence

Figure 1 : Schéma de départ



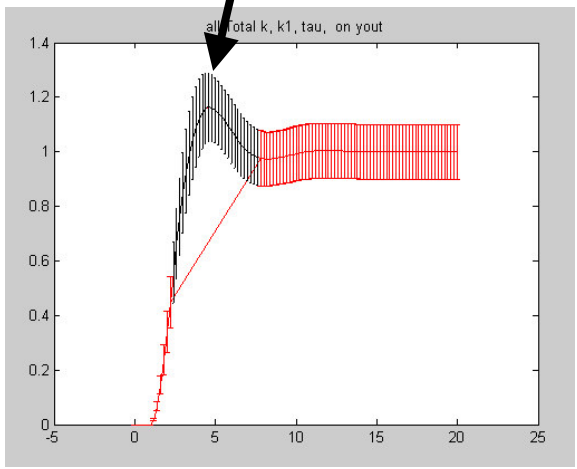
Diffedge : Études et calibrage statistiques des modèles en **1** simulation





Influence des paramètres sur la sortie

$$L(Pi)=N(mpi;\ \sigma pi) \overset{\text{approximation}}{\Rightarrow} L(Yi)=N(myi,\ \sigma yi)$$



yout order	parameters	nominal values	rms max	variation in %	résidu	dy/dk max	time max
1	Total k, k1, tau,		0,0153968	1,55	9,01E-05	1,16631	3,4
2	k	1	0,0120105	1,29	5,03E-05	1,20105	3,2
3	k1	1	0,0116297	1,00	0	0,416067	4,6
4	tau	1	0,00282104	0,43	6,45E-06	1,0677	2,6

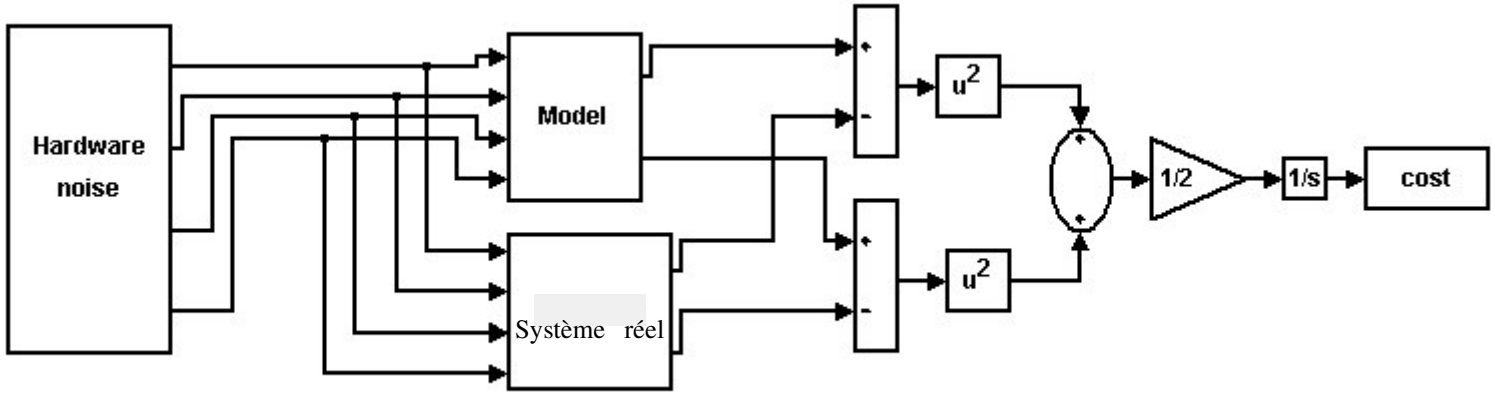
Diffedge : Recalage ⇒ un cas industriel (confidentiel : travaux en cours)

- Modèle de 623 blocs, 57 sous-systèmes, blocs : look-up tables, logic, sign, Fcn, Trigger,…
- + 70 paramètres

Objectif recalage global sur plusieurs jeux d'essais

- <u>Difficultés :</u>
  - Excitations bruités,
  - Activation de sous modèles en fonction des excitations (modèle par morceaux)
- <u>Méthodologie :</u>
  - Etude de sensibilité : (compréhension du modèle, influence des paramètres sur les sorties)
  - Sélection des paramètres sensibles, recalage sur les 8 essais

.



Système réel

Diffedge : Résultats

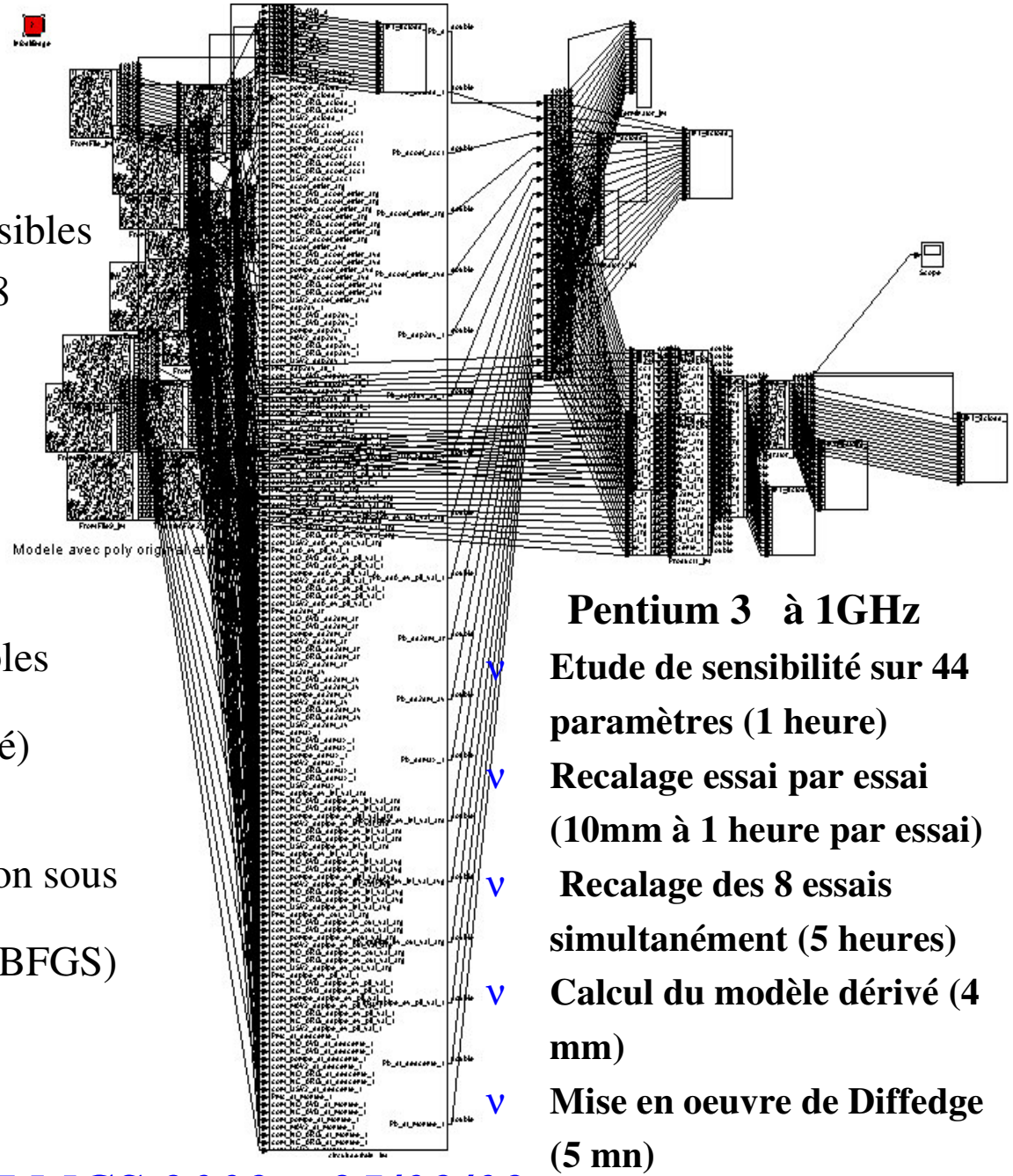
- Détection de 18 paramètres sensibles
- Optimisation simultanée des 18 paramètres et sur 8 essais
- Contraintes :

para_min < para < para_max

L'optimisation a recalé :

- 3 gains devant des look-up tables
- 6 paramètres uniquement (ciblé)

- Méthode Fmincon : minimisation sous contraintes non linéaires (SQP,BFGS)



Pentium 3 à 1GHz

- **Etude de sensibilité sur 44 paramètres (1 heure)**
- **Recalage essai par essai (10mm à 1 heure par essai)**
- **Recalage des 8 essais simultanément (5 heures)**
- **Calcul du modèle dérivé (4 mm)**
- **Mise en oeuvre de Diffedge (5 mn)**

Conclusion : Diffedge un automate pour l'analyse des systèmes hybrides

- Est une méthodologie / outil puissant pour l'aide à la conception , à l'analyse statistique et au dimensionnement des modèles statiques / dynamiques décrits sous forme de schéma-blocs (Simulink ou autres)

- Bénéfices utilisateurs ⇒ exploitation instantanée du modèle sans transformation.
  - Automatisation de l'ensemble des taches nécessaires à l'étude sensibilité et à l'optimisation d'un modèle. .
  - Donne accès aux méthodes d'optimisation avec contraintes nécessitant le gradient, jacobien, hessien.(rapidité, simplification des réglages).
  - Aide à l'analyse /compréhension et au diagnostic de la modélisation.

Mise en oeuvre de Diffedge rapide et souple ⇒ **nom du mdl, liste des paramètres, méthode d'optimisation**

APPEDGE : Savoir faire

- Actions d'expertise /développement en informatique scientifique : Optimisation/Identification, stratégie d'intégration, Modélisation, co-simulation, (Simulink/Matlab, Scilab, Maple, Maxima, …)
- CARINS : Logiciel de simulation de procédés instationnaires (hydraulique/pneumatique/combustion) (CNES): Numérique/formel (Maxima, Dassl, IHM Java) , Liens bidirectionnels.
- Réalisation du simulateur AESTUS (semi-diphasique, multi-gaz (mélange) avec réactions chimiques.
- Un générateur automatique de plan d'essais et de dépouillement de résultats sous Scilab.
- …..