

L'apport du calcul formel dans une démarche système

John Masse*

John.masse@appedge.com

*Appedge: 18-22 rue d'Arras 92000 Nanterre

www.appedge.com

lmcs 2006

L'Apport du calcul formel dans une démarche système

Réalisations

- CARINS/CARDIM
- Diffedge et diffedge_stat
- Sim2maple
- Estimation paramétrique en ligne

Le calcul formel et le calcul numérique dans une démarche système

Pourquoi ? les logiciels numériques sont plus répandus alors que le calcul numérique avec des nombres en virgules flottantes ne respecte « qu' approximativement » les propriétés algébriques.

- La force du calcul numérique est liée à son côté prévisible (\neq juste):
 - Anticipation : la taille des résultats, l'espace mémoire utilisé, les temps de simulation
- Aujourd'hui, la complexité/taille des modèles donne des simulateurs complexes qui peinent à la résolution. (problèmes de stabilité numérique, échec de la stratégie d'intégration, etc)

Solution: aider la résolution numérique par utilisation conjointe du formel

- Toute résolution numérique d'un problème demande une préparation ou des manipulations symboliques d'expressions (mathématiques constructives)
- L'utilisation d'un outil de calcul formel s'avère utile pour automatiser les tâches → **pré-processeur pour le calcul numérique**

Ordonner, automatiser , optimiser la génération des équations pour réduire les problèmes de précision, de fiabilité et de programmation laborieuse.

Le calcul formel dans le développement d'outils logiciels: CARINS et CARDIM

➤  **Un logiciel de modélisation et de simulation pour les procédés industriels complexes**

➤  **Un logiciel de dimensionnement de moteurs de lanceur**

J. Masse¹, V. Leudiere², G. Ordonneau³, E. Cliquet², G. Albano²

➤ ¹**APPEDGE**

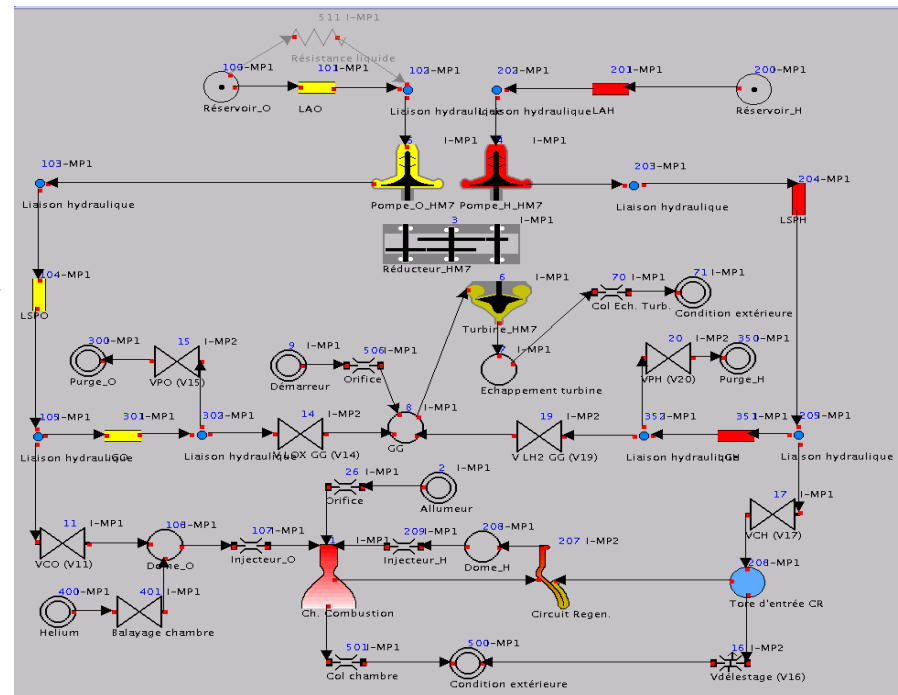
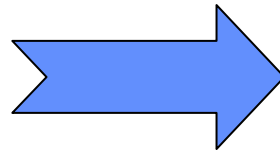
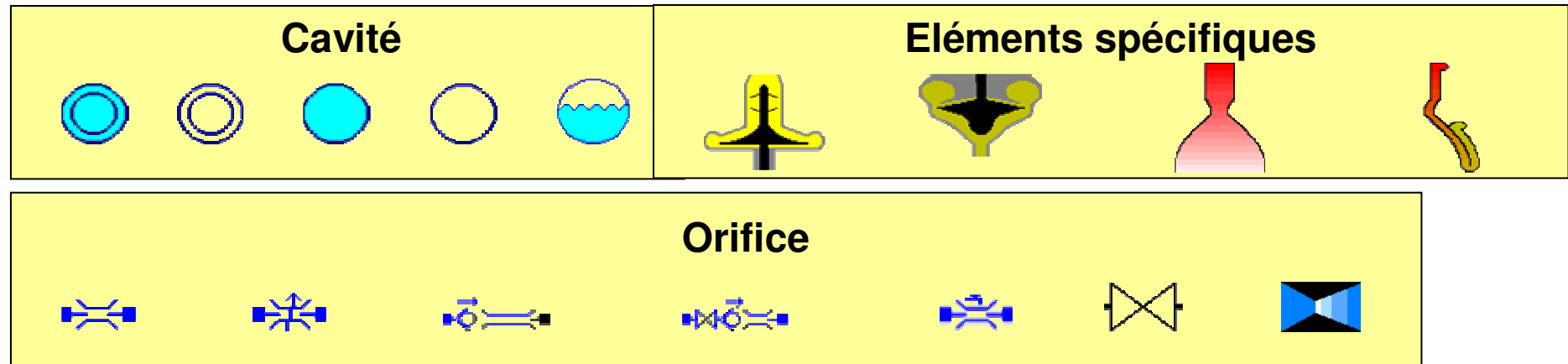
➤ 18-22, rue d'Arras
➤ 92000 Nanterre

²**CNES DLA**

Rond point de l'espace
91023 EVRY CEDEX
<http://www.cnes.fr>

➤ ³**ONERA**

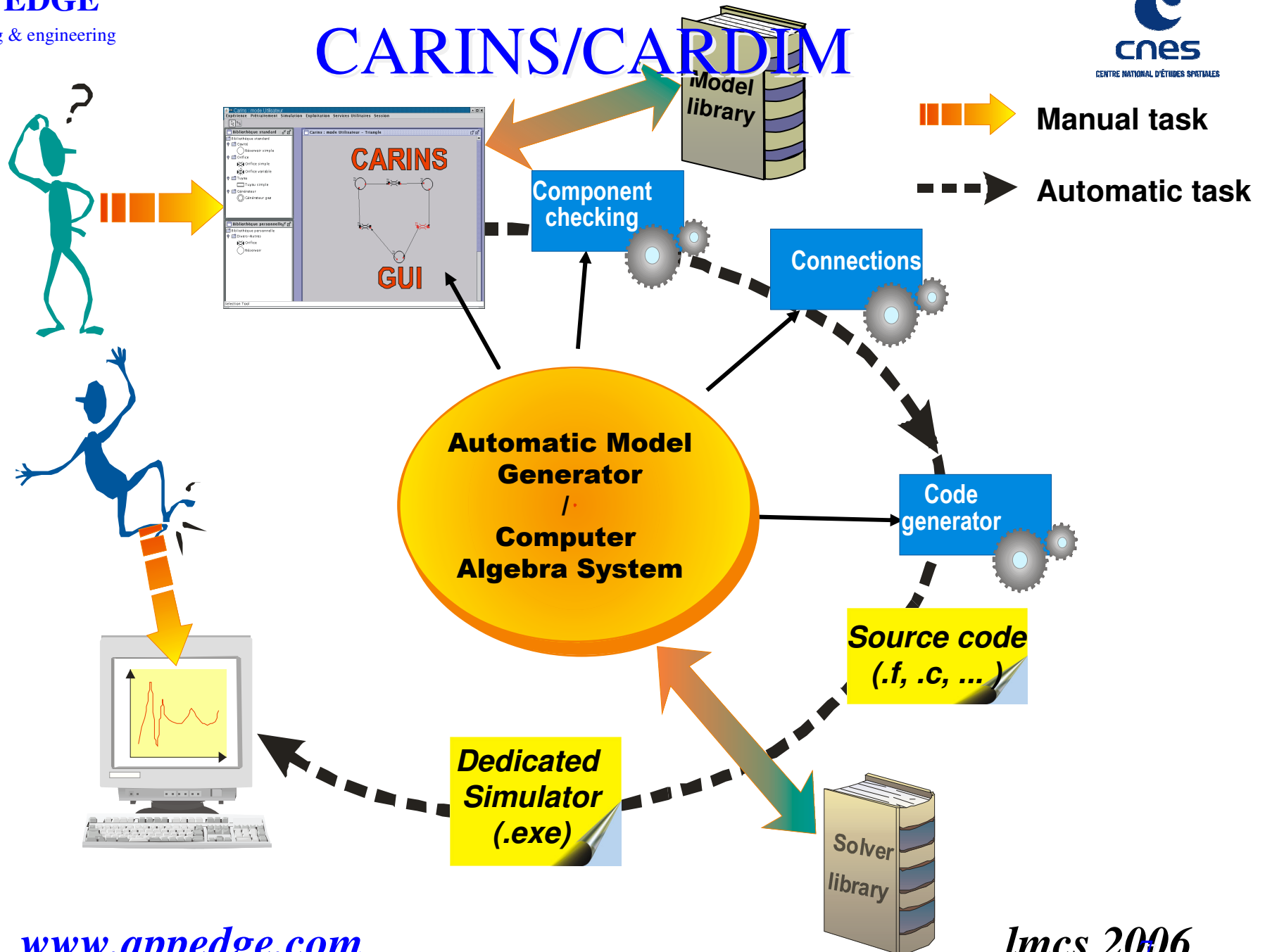
➤ Dép: Énergétique fondamentale appliquée
➤ 29 av de la division Leclerc
➤ 92322 Châtillon cedex
➤ <http://www.onera.fr>



Environnement de programmation et de calcul CARINS et CARDIM

- IHM : JhotDraw, **Java V2 SDK 1.4.2-04**, **Xerces-Java**
- Moteur de calcul formel : **MAXIMA 5.2**
- Compilateur fortran : **Fort77**
- Solveurs: **Lsoda**, **Isodes**
- Traducteur: **f2c**
- Compilateur C: **gcc**
- Tracé de courbes:
 - **SCILAB version 2.x, 3.x,4,x**
 - **Tcl/Tk 8.3.3-7**
 - **Gnuplot**
- Automate d'études paramétrique et de sensibilité : **SCILAB**
- Help : **Acrobat Reader**, **Netscape**
- **Linux**

CARINS/CARDIM



CARDIM, CARINS un environnement de simulation « intelligent »

- Organisation automatique du code pour la simulation des systèmes hybrides, la co-simulation, co-design.
- Manipulation des variables / paramètres scalaires ou vectoriels.
- Organisation automatique des équations(ODEs ou algébriques) saisies par l'utilisateur dans l'IHM avec mise en place de la stratégie d'intégration.
- Adaptation de la connectique aux modèles physiques et non pas l'inverse.
 - la notion d'*amont* et d'*aval*, la notion de port du type schéma blocs, la notion de multi port de type entrant et sortant (ports permanents), la notion d'une connectique libre (détection des variables par typage des éléments moteurs) permet de créer des connexions dynamiques dans l'IHM (nombre illimité).
- Générer ce qui est uniquement nécessaire à la résolution du problème ⇒
Robustesse et rapidité de la simulation
- Retour d'information précis sur la cohérence du système (nom des variables,...), code généré lisible
Maîtrise des modèles physiques, de la génération du code et surtout de la stratégie d'intégration/résolution.

Le calcul formel et l'analyse de sensibilité analytique dans une démarche système

(T. Bastogne*, J.Masse)

*Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN)

Nancy-Université, CNRS, UMR 7039

➤ Les questions à propos d'un simulateur

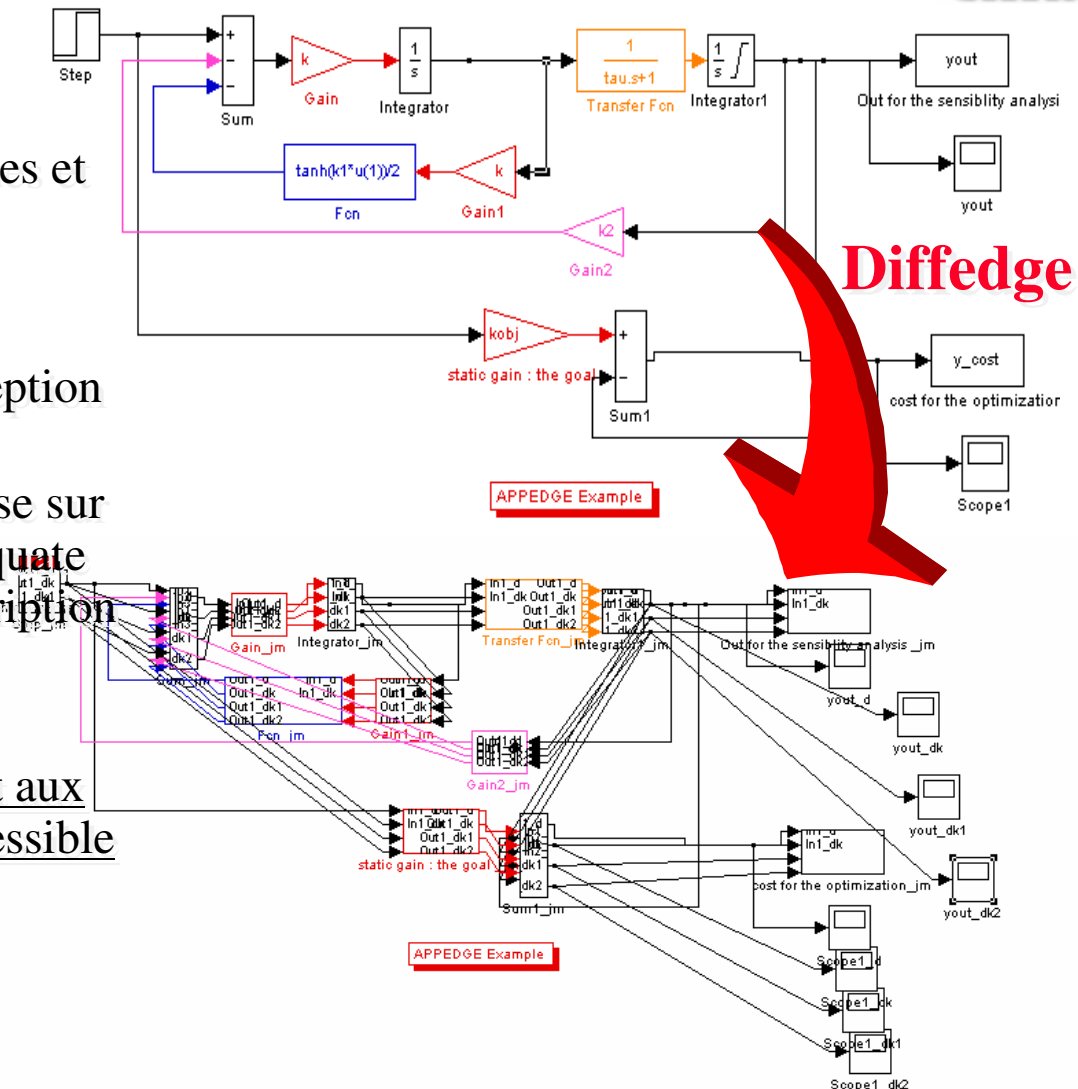
- Comment rationaliser les méthodologies d'aide à la conception ,à l'analyse et à la capitalisation de connaissance des simulateurs (retour sur investissement)?
- Comment savoir si la physique de mes modèles contient suffisamment d'information pour être recalée ?
- Comment savoir si les paramètres de mes simulateurs sont identifiables? Quelles familles de paramètres dois-je choisir pour garantir le succès de mon optimisation ou de mon recalage?.
- Comment utiliser mon simulateur pour spécifier certains composants (capteurs, actionneurs) ?
- Quel intervalle de confiance (garantie) puis-je avoir sur mes sorties si l'on est dans une phase de perte ou de progression du savoir sur différent composants du procédé ?
 - Comment introduire ou extraire ses connaissances du simulateur (diagnostic, analyse, calibration, spécification) ?

La réponse est unique :

La variation de cv % d'un paramètre donne ou explique cv % du signal de sortie

➤ Plusieurs méthodologies:

- Etudes paramétriques: trop longues et compliquées à interpréter
- Monte Carlo: (trop longue, fastidieuse pour une utilisation courante pour une aide à la conception des simulateurs),
- Arithmétique d'intervalle : explose sur des modèles volumineux (inadéquante par rapport aux langages de description des modèles).
-
- Le calcul du gradient par rapport aux paramètres est une solution accessible rapidement en formel



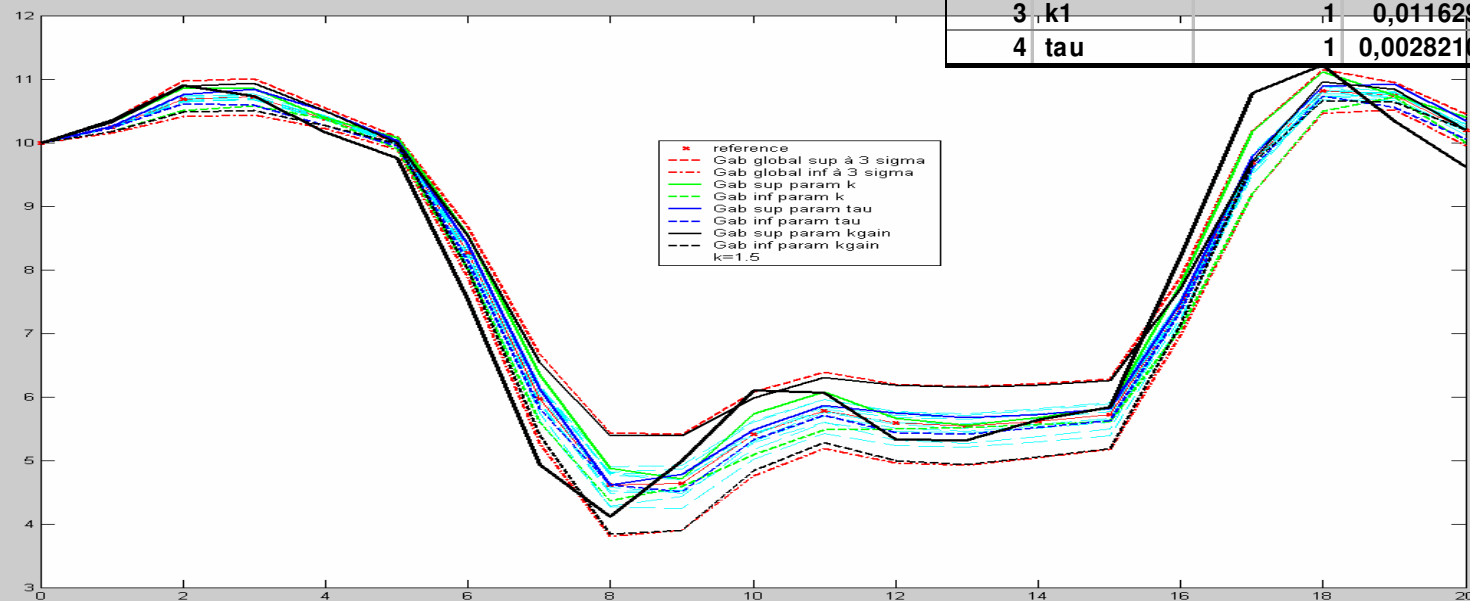
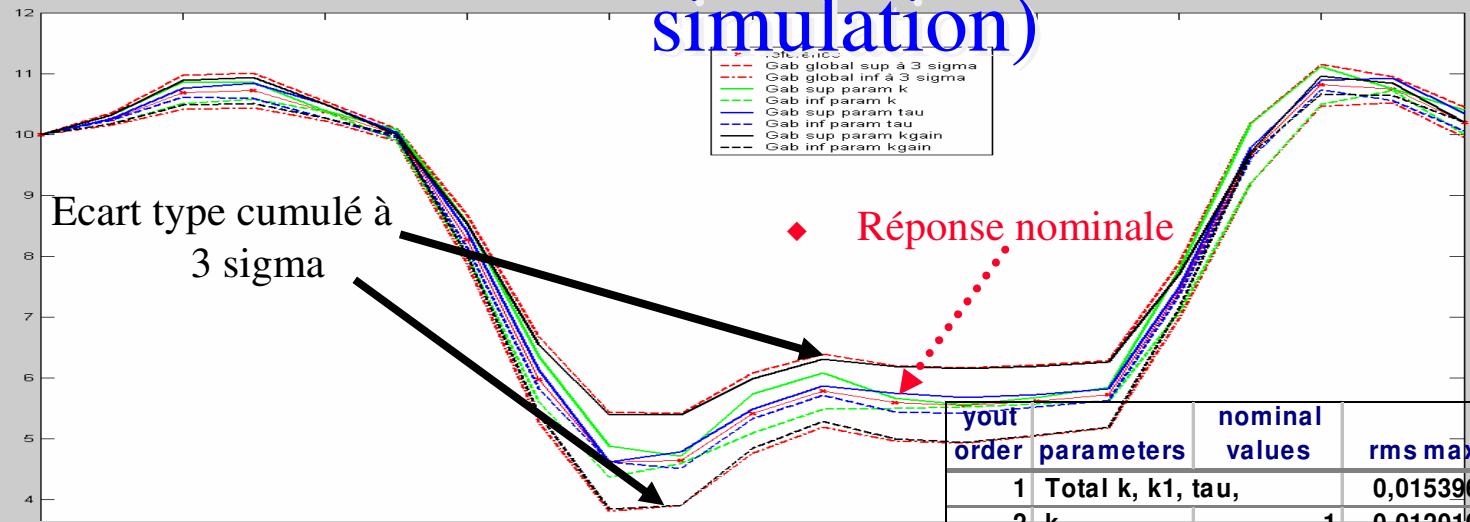
Diffedge : Différentiation formelle de schéma-blocs

Diffedge_stat : un outil d'analyse statistique analytique des simulateurs

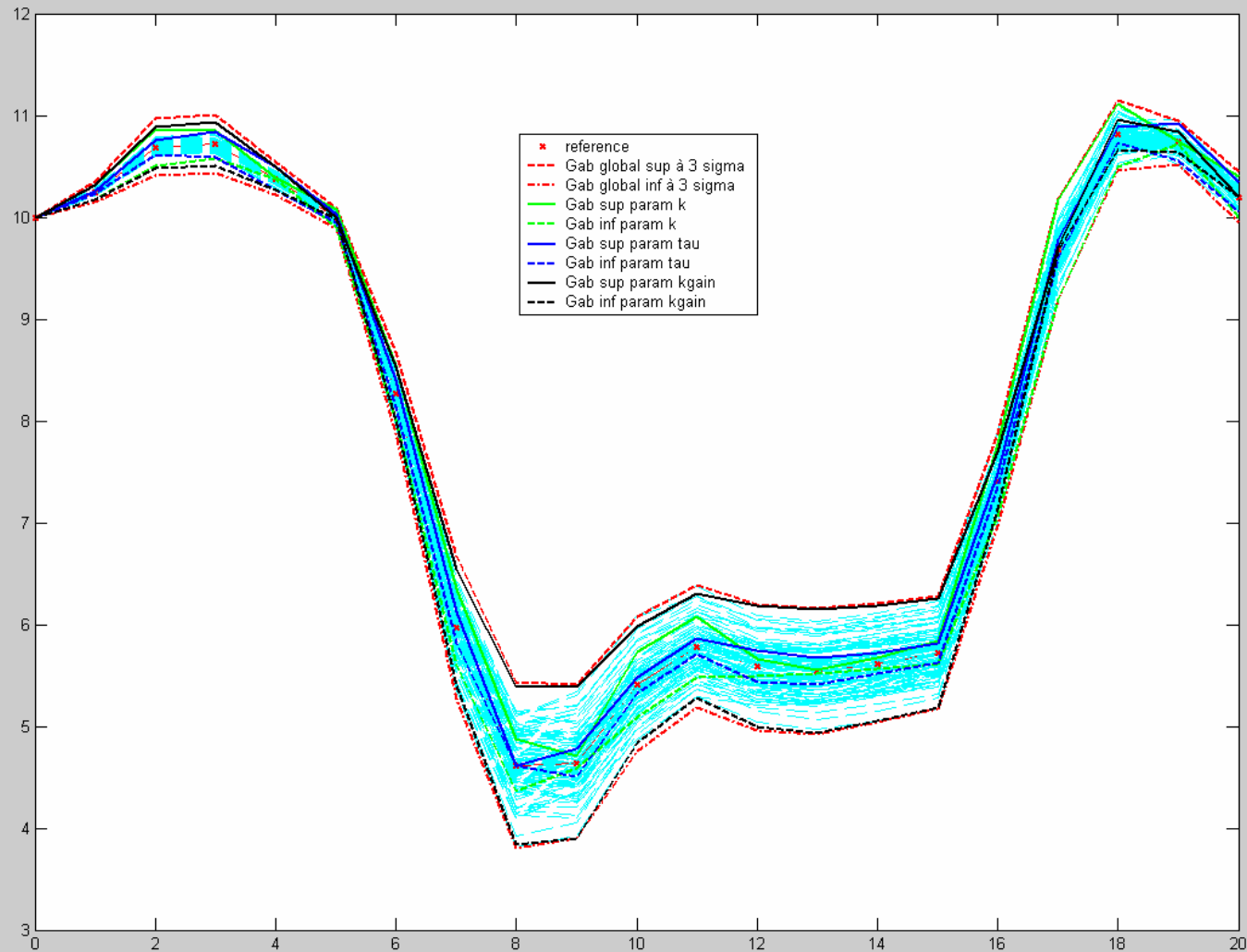
- Applicabilité du calcul formel dans ce contexte :
 - Un différentiateur exact de modèle hybrides non linéaire sans dégradation de la modélisation
 - La dérivée par rapport aux paramètres est aussi un modèle Simulink et peut être visualisée en tout point du schéma.
 - En 1 simulation, on obtient tout.
- Ce qui permet :
 - Calibrage statistique de modèle
 - $L(\mathbf{P}_i) = \mathbf{N}(\mathbf{m}_{pi}; \boldsymbol{\sigma}_{pi}) \Rightarrow L(\mathbf{Y}_i) = \mathbf{N}(\mathbf{m}_{yi}, \boldsymbol{\sigma}_{yi})$
 - Dimensionnement (intervalles et ellipses de confiance (MIMO) ,
 - Analyse de sensibilité paramétrique
 - Tracé des gabarits à 3 sigma.
 - Calcul des corrélations entre les paramètres (identifiabilité/ discernabilité)

Généricité et automatisation de l'ensemble des taches nécessaires à l'étude sensibilité et à l'optimisation d'un modèle Simulink.

Précision des gabarits (3 paramètres en 1 simulation)



Comparaison avec Monte Carlo (600 simulations)



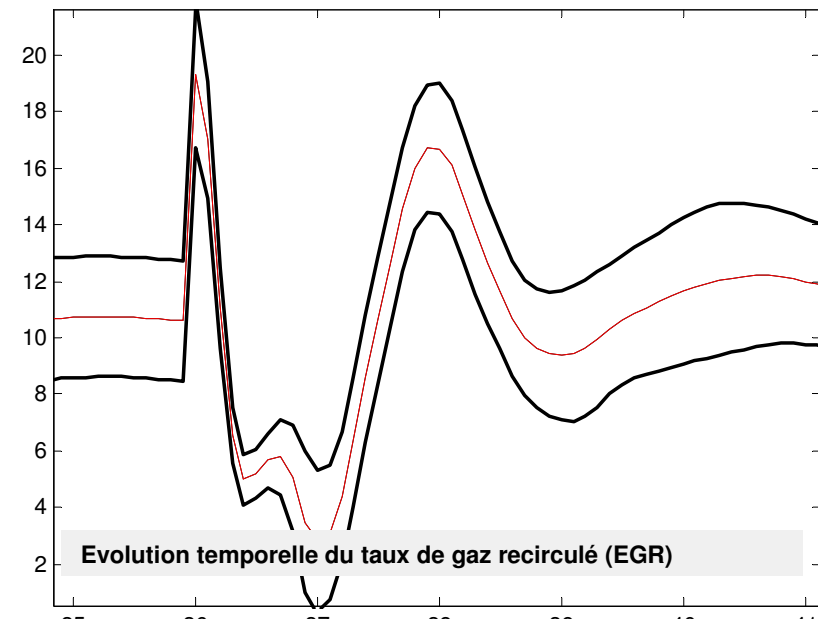
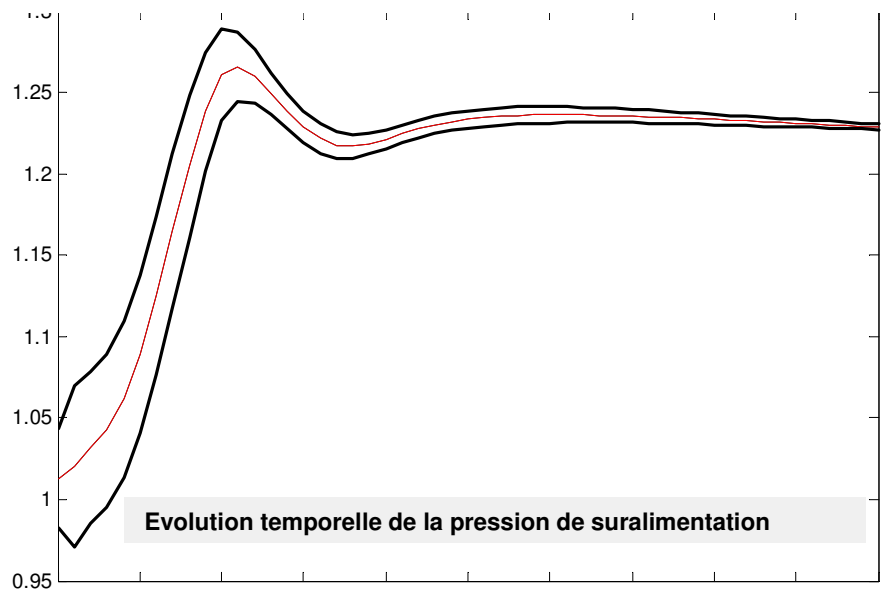
Etude de sensibilité d'un modèle moteur en collaboration avec PSA

Etudes statique et dynamique

O.Hayat, P.O Calendini, S. Breuer

Utilisation de la méthode de sensibilité analytique sur un système complexe
: Moteur automobile HDi

Etude de l'impact des dispersions du système sur les paramètres de conception



Sim2Maple :
un traducteur automatique de Modèles
Simulink™ vers Maple

Disponible Février 2007

APPEDGE



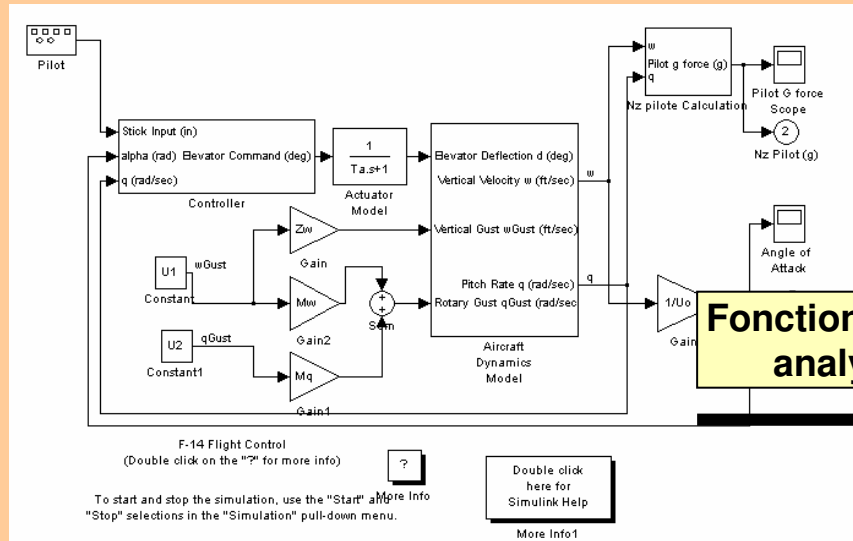
Objectif de Sim2maple

- Obtenir la fonction de transfert d'un modèle Simulink sous sa forme analytique rapidement et simplement
- Obtenir le système en boucle ouverte ou en boucle fermée en tout point du modèle
- Conception en contrôle commande
 - Conception de lois de commande (Bode, Nyquist, Evans, etc)
 - Analyse de sensibilité / fréquentielle
 - Maîtrise de la génération de code.
- Aide à la documentation
- Analyse de sensibilité, analyse phénoménologique

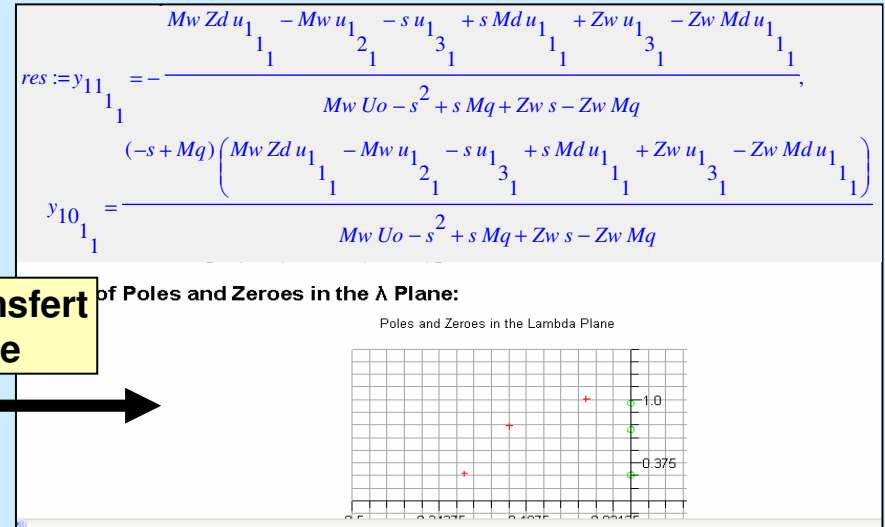
Le rôle du calcul formel dans sim2maple

- Manipulation des blocs Simulink en formel : scalaires et vectoriels.
- Afficher analytiquement les blocs en fonction des paramètres en utilisant les fonctionnalités graphiques de Maple pour aider à la réalisation de documentation.
- Assembler les blocs (BO,BF linéaire)
- Construire les équations/FT en n'importe quel point du modèle
- Génération de code optimisé multi-cibles.
- Application des toolboxes formelles (contrôle commande, résolution, contrôle de la précision numérique, ...)

Simulink



Maple

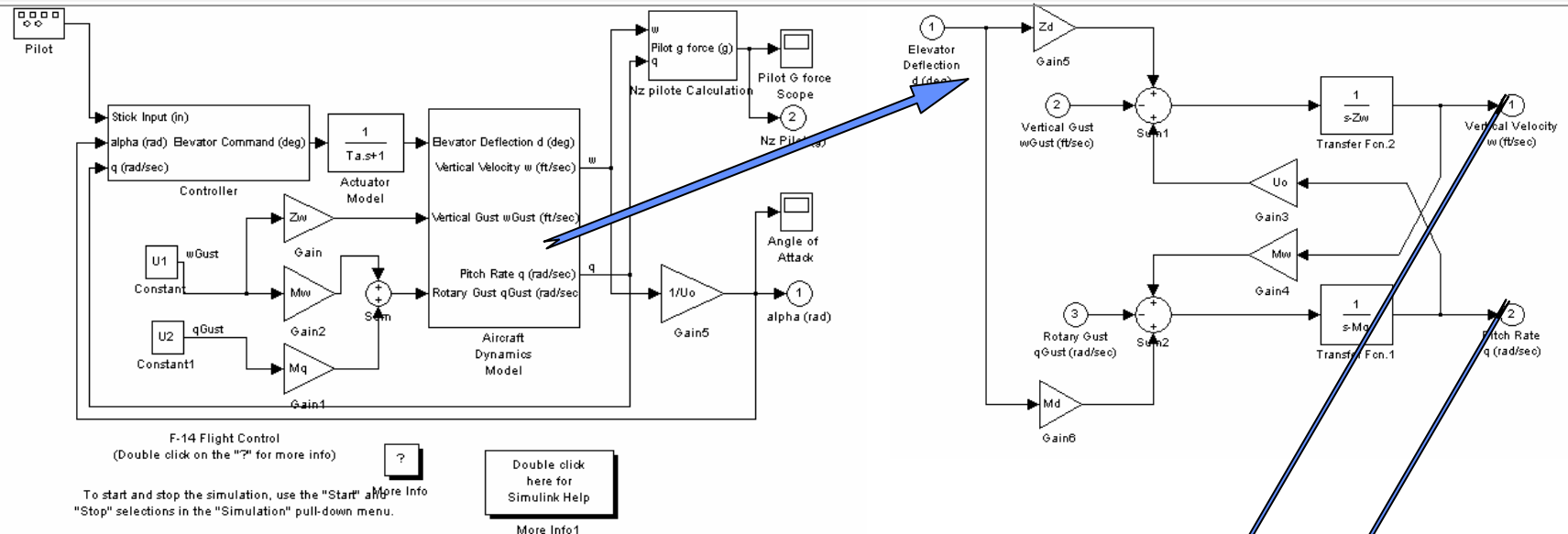


calcule automatiquement la fonction de transfert analytique équivalente

Traduction de tout système ou sous système linéaire, discret ou continu

Une fois dans Maple les équations analytiques, peuvent être simplifiées, étudiées analysées., documentation

Sim2Maple : exemple, modèle F14



$$res := y_{11} = - \frac{Mw Zd u_1 - Mw u_1 - s u_1 + s Md u_1 + Zw u_1 - Zw Md u_1}{Mw Uo - s^2 + s Mq + Zw s - Zw Mq},$$

$$y_{10} = \frac{(-s + Mq) \left(Mw Zd u_1 - Mw u_1 - s u_1 + s Md u_1 + Zw u_1 - Zw Md u_1 \right)}{Mw Uo - s^2 + s Mq + Zw s - Zw Mq}$$

**Utilisation du calcul formel pour la génération de code pour les systèmes
temps réel
Estimation paramétrique en ligne**

M.Fliess, C.join, J.Masse

* Projet **ALIEN** INRIA-FUTURS



Utilisation du calcul formel pour la génération de code temps réel

➤ Objectif recherché:

- Disposer d'un environnement de manipulation symbolique d'expressions complexes: Laplace, intégrales
- Pourvoir automatiser les traitements symboliques lourds
- Générer la documentation associée aux traitements.

➤ Rôle du calcul formel

- Manipulation et simplification d'expressions algébriques
- Génération de code C pour le temps réel ou pour des outils de simulations (« Block builder de Maple»)

Algèbre pour l'estimation paramétrique

Rappel

Etape 1 : saisie des équations

équation différentielle

$$\tau \dot{y} + y = ku$$

domaine opérationnel

$$\tau(sy - y(0)) + y = ku$$

ou

$$\tau sy + y - ku = \tau y(0)$$

$y(0)$ mal connu

τ et k inconnus

Etape 2 : Dérivation n fois

$$d/ds \quad \longrightarrow \quad \tau y + (\tau s + 1) \frac{d}{ds} y - k \frac{d}{ds} u = \frac{d}{ds} \tau y(0) = 0$$

\longrightarrow plus de conditions initiales

$$d^2/ds^2 \quad \longrightarrow \quad 2\tau \frac{d}{ds} y + (\tau s + 1) \frac{d^2}{ds^2} y - k \frac{d^2}{ds^2} u = 0$$

Etape 3 : calcul des degrés et tri des équations

système

$$\begin{pmatrix} y + s \frac{d}{ds} y & -\frac{d}{ds} u \\ 2 \frac{d}{ds} y + s \frac{d^2}{ds^2} y & -\frac{d^2}{ds^2} u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau \\ k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{d}{ds} y \\ -\frac{d^2}{ds^2} y \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \longleftarrow s^{-n} & n > 0 \\ \longleftarrow s^{-n} & n > 0 \end{matrix}$$

si n est assez grand \longrightarrow plus de dérivées temporelles

Etape 4 : résolution, substitution et manipulation d'intégrales

$$n = 2 \quad \rightarrow \quad \begin{pmatrix} \tau \\ k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \int^{(2)} y - \int ty & \int^{(2)} tu \\ -2 \int^{(2)} ty + \int t^2 y & - \int^{(2)} t^2 u \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \int^{(2)} ty \\ - \int^{(2)} t^2 y \end{pmatrix}$$

domaine opérationnel \longleftrightarrow domaine temporel

$$\frac{d^n}{ds^n} \longleftrightarrow (-1)^n t^n \quad s^{-n} \longleftrightarrow \underbrace{\int \dots \int}_n \longleftrightarrow \int^{(n)}$$

Le calcul formel est indispensable

- Automatiser les étapes
- Générer le code C optimisé dans le calculateur temps réel pour l'identification on-line des paramètres

Conclusion

- L'utilisation d'un logiciel d'un calcul formel en tant qu'outil de manipulation symbolique d'expressions permet :
 - de développer rapidement des outils de simulation
 - de dépasser les limites des logiciels de simulation tout numérique qui arrivent à saturation
 - d'améliorer l'ergonomie des logiciels(IHM formelle/numérique, support des équations)
 - d'améliorer la robustesse et la fiabilité numérique et ainsi de réduire les temps de simulation/résolution
 - de réduire les temps de développement des simulateurs (analyse et compréhension, documentation)
- Il est indéniable que son utilisation conjointe avec le numérique permet de dépasser les limites des logiciels purement numérique et ouvre la porte à l'exploration de nouvelles méthodologies

Et enfin, le renouveau de la simulation dans les prochaines années passera sûrement par une utilisation plus intensive du calcul formel dans les outils systèmes avec le développement de compétences mixtes formelles/numériques.

APPEDGE

