



CARMEN

atelier logiciels simulation de systèmes propulsifs à ergols liquides

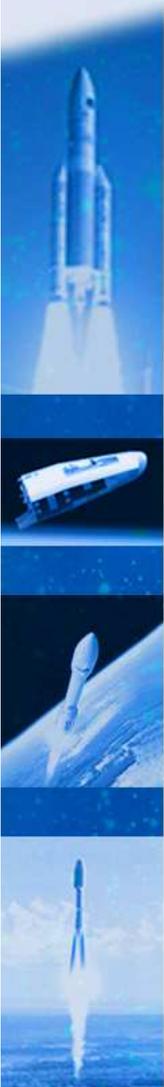
LMCS

17/04/2008



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

- **Introduction sur DLA**
- **Présentation CARMEN**
- **Logiciel CARINS**
- **Logiciel CARDIM**
- **Conclusions**



Domaine d'activité:

- ◆ transport spatial

Activités fondamentales:

- ◆ Conduire des projets
- ◆ Mener des analyses prospectives et des avant-projets
- ◆ Conduire des expertises
- ◆ Animer la recherche

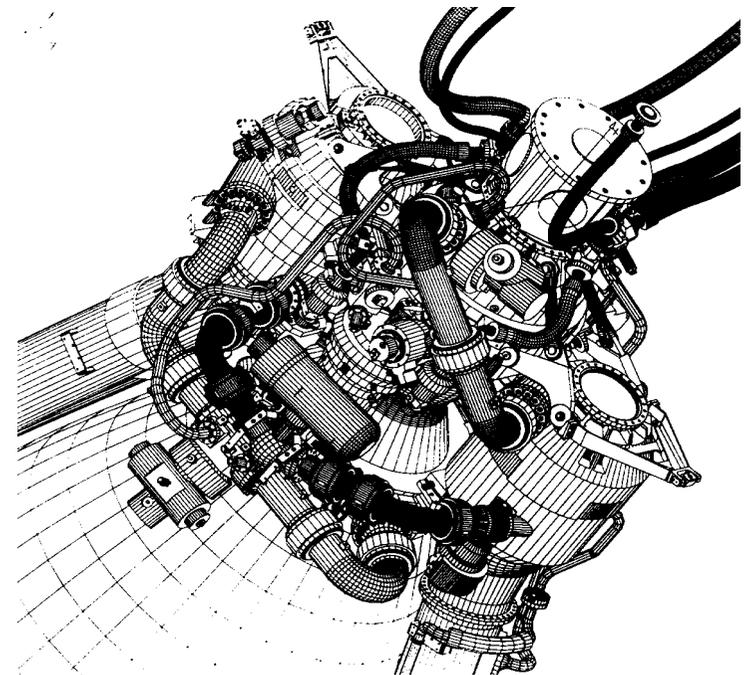
Les **compétences techniques** propres à la DLA ont été développées pour maîtriser toute la chaîne de valeur d'un lanceur (R&T, études d'avant projets, développement et exploitation....).

Le CNES a donc besoin d'outils intégrés pour couvrir tous les besoins des avant-projets à l'exploitation.



- **CARMEN est l'outil de référence du CNES pour la simulation des systèmes propulsifs des lanceurs à ergols liquides**
 - ◆ depuis leur dimensionnement..
 - ◆ jusqu'à leur analyse et leur régulation

- **Traite différents domaines, notamment :**
 - ◆ **Hydraulique**
 - ◆ **Pneumatique**
 - ◆ **Mécanique**
 - ◆ **Organes de combustion**



■ Concept général de l'étude d'un système propulsif

- ◆ **Macro discrétisation en espace du système**
 - Sous-systèmes moteur (branches) + interfaces (nœuds) = maillage
- ◆ **Définition des équations de bilan sur les branches**
 - Algébriques (calcul cycle thermodynamique)
 - Différentielles (analyse fonctionnel transitoire et stabilisé)
- ◆ **Définition des interfaces entre les sous-systèmes (nœuds)**
 - Égalité des variables transportées entre un élément et l'autre
- ◆ **Résolution du système (simulateur)**
- ◆ **Dimensionnements géométriques des éléments**
 - Méthode de dimensionnement géométrique

→ Atelier CARMEN

■ Processus d'étude d'un système propulsif de lanceurs spatiaux (atelier CARMEN)

◆ Dimensionnement (CARDIM)

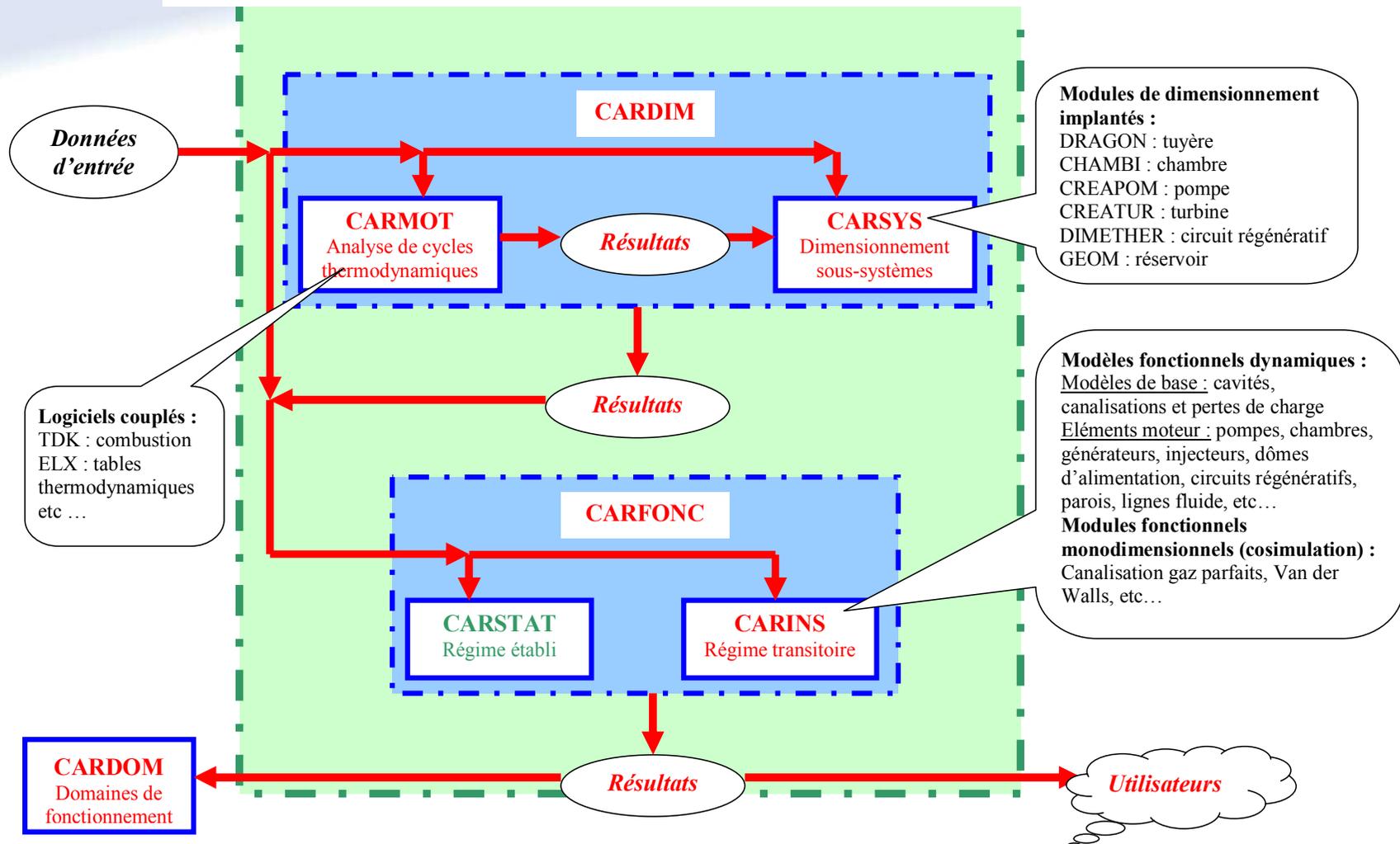
- Étude du cycle thermodynamique (CARMOT)
- Définition géométrique sous-systèmes (CARSYS)

◆ Analyse fonctionnelle (CARFONC)

- Étude du régime établi (CARSTAT)
- Étude du régime transitoire (CARINS)

→ OBJECTIF PRESENTATION: CARDIM et CARINS

CARMEN : Atelier logiciels pour la propulsion – Schéma de principe



- Association de compétences industrielles et universitaires autour du CNES

- architecte informatique:

- **CAPGEMINI**

- calcul mathématique:

- **Appedge (SSII)**

- **Gage (CNRS)**

- Modélisation physiques/Modules de dimensionnement:

- **Onera**

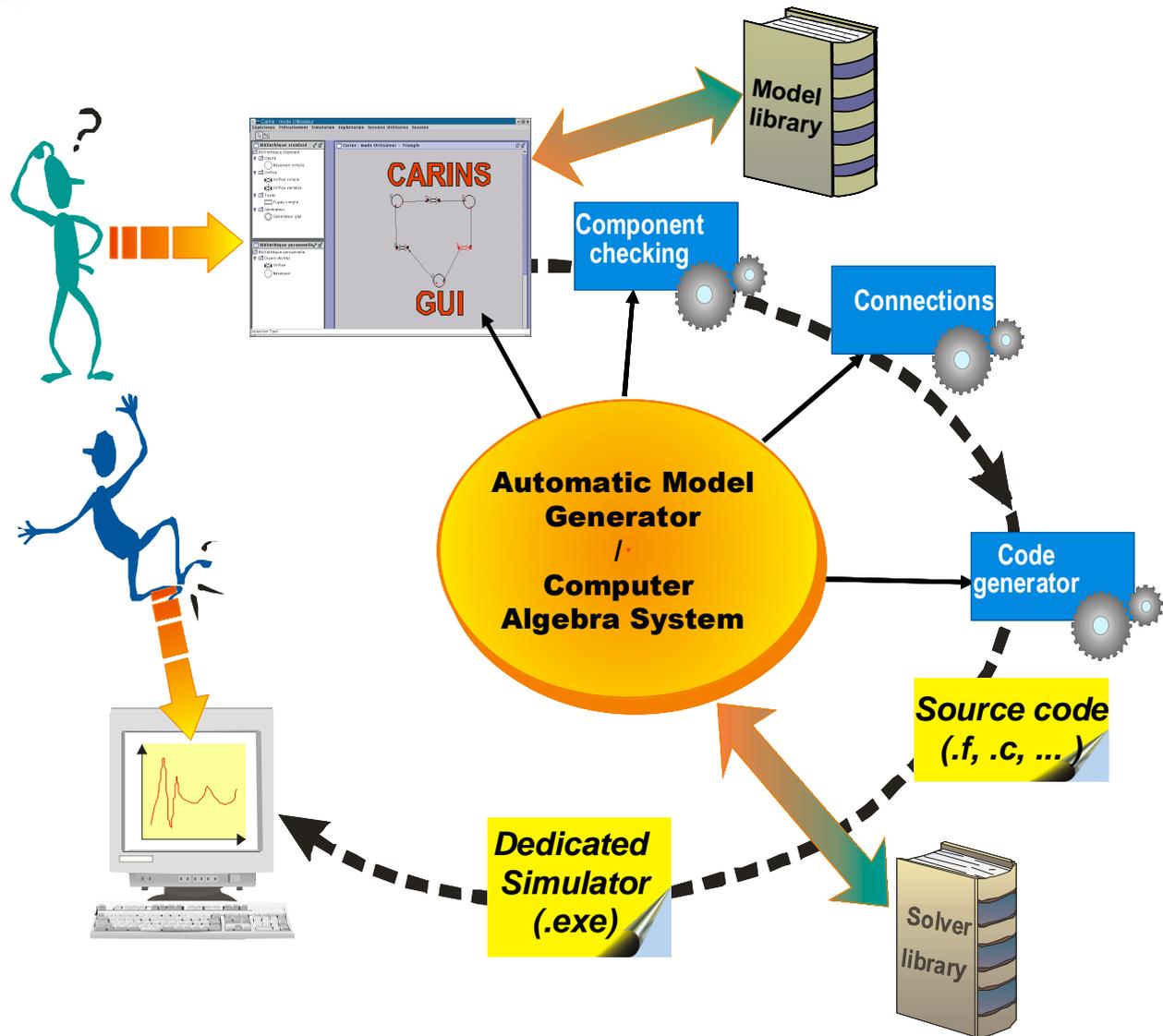
- **LFCT(ParisVI), LEMTA (INPL), LML (ENSAM) etc. etc.**

CARINS et CARDIM: même philosophie de développement (CARDIM a hérité l'architecture fonctionnelle de CARINS)

- Optimisation de la simulation grâce au calcul formel
- Capitalisation des outils externes et modèles physiques (bibliothèques standards et personnelles)
 - ◆ Modèles physiques ouverts
- Logiciels open source
- Études paramétriques optimisées



- Calcul formel (Maxima)
- IHM
- Librairie de solveurs
- Librairie des modèles



■ Les modèles physiques

- ◆ **Chaque élément reçoit une modélisation mathématique :**
 - Modèles déjà disponibles dans la bibliothèque standard
 - Nouveaux modèles créés par l'utilisateur (stockés dans sa bibliothèque personnelle)

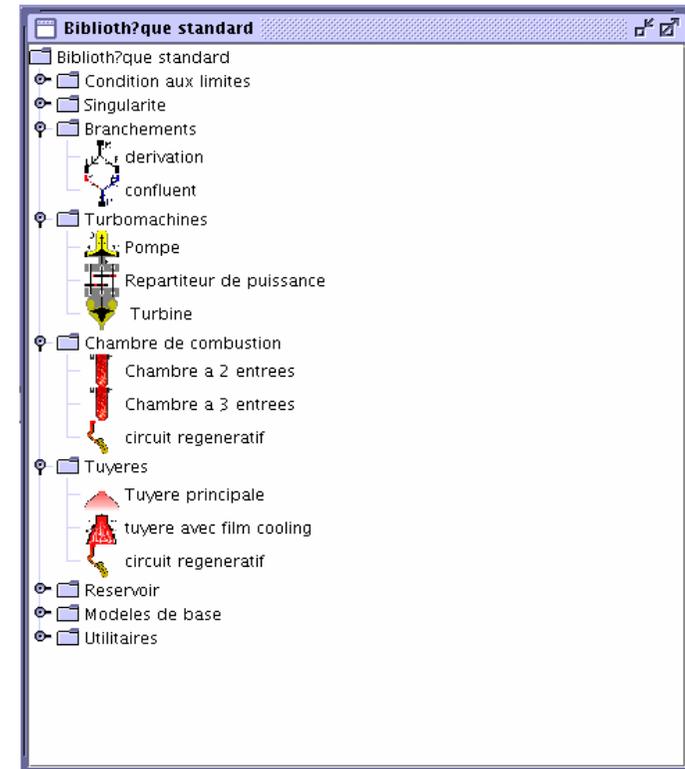


Tableau de bord



masque

Tableau de bord : ligne déroulement TP (3)

Modèle Physique :

Type : TUYAU

Sous-type :

Id : gpi001

Nom : gpi001

Commentaire : canalisation gaz parfait adiabatique

Observations...

Variables différentielles :

Nom	A Valorsier	Défaut	Dynamique
Q	<input checked="" type="checkbox"/>	qinf	<input type="checkbox"/>

Ajouter Saisie libre

Paramètres :

Nom	A Valorsier	Défaut	Dynamique
L	<input checked="" type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>
S	<input checked="" type="checkbox"/>	sm2	<input type="checkbox"/>
TP	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>

Ajouter

Paramètres Maxima :

Nom	A Valorsier	Défaut
-----	-------------	--------

Ajouter

Valider Appliquer Annuler

Système d'équations :

Hypothèses Gaz Parfait

E.EVALSYS : TUYAU

E.ETATSAT :

E.CINITY :

Commentaire : DEBIT TUYAU

Equations différentielles :

Act	Equation Différentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	$DQ[Num] = C.hpi001(0ble(num), Q[Num], P[AMONT], P[AVANT] ...$

Ajouter

Equations globales explicites :

Active	Equation Globale Explicite
<input checked="" type="checkbox"/>	$TPAC[num] = itedrt(logic(Q[num] > dzero), TP[AMONT], TP[AVANT] ...$

Ajouter

Masque de ligne alimentation TP (2)

Propriétés Paramètres Paramètres Maxima Conditions Initiales Fluides

L[Num] C.1 : 3.97

S[Num] C.M2 : 0.005

KP[Num] C.1 : 5.62

Affecter chrono...

Saisir les valeurs en unité S.I.

- 
- A vertical strip of four images is positioned on the left side of the slide. From top to bottom: a rocket launch, a satellite in orbit, a satellite in orbit, and a rocket launch.
- IHM : JhotDraw, **Java V2 SDK 1.4.2-04**, **Xerces-Java**
 - Moteur de calcul formel : **MAXIMA 5.2**
 - Compilateur fortran : **Fort77**
 - Solveurs: Lsoda, Isodes (CARINS); hybrid, lmdr, lbfgsb21 (CARDIM)
 - Traducteur: **f2c**
 - Compilateur C: **gcc**
 - Tracé de courbes:
 - **SCILAB versions 2.x, 3.x,4,x**
 - **Xtrace (CNES)**
 - **Tcl/Tk 8.3.3-7**
 - **Gnuplot**
 - Automate d'études paramétrique et de sensibilité : **SCILAB**
 - Help : **Acrobat Reader, Mozilla**
 - **Linux**



Logiciel CARINS

CARMEN, atelier logiciel pour la simulation de systèmes propulsifs à ergols liquides

LMCS

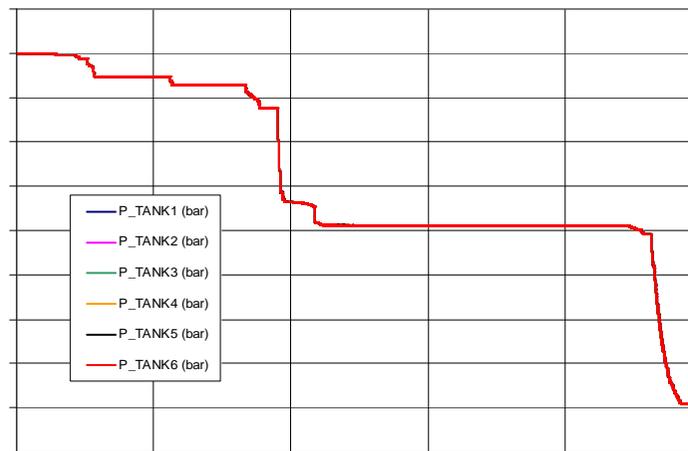
17/04/2008



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

- Rendre compte des **évolutions temporelles des grandeurs physiques** caractérisant le fonctionnement des systèmes propulsifs de lanceurs spatiaux (moteur, étage, sous-système) pendant les différentes phases de leurs missions (démarrage, arrêt, changement de régime, régime établi, etc.)

Modèle CARINS du SCAVUS : résultats pour la mission "Pacifique nom"

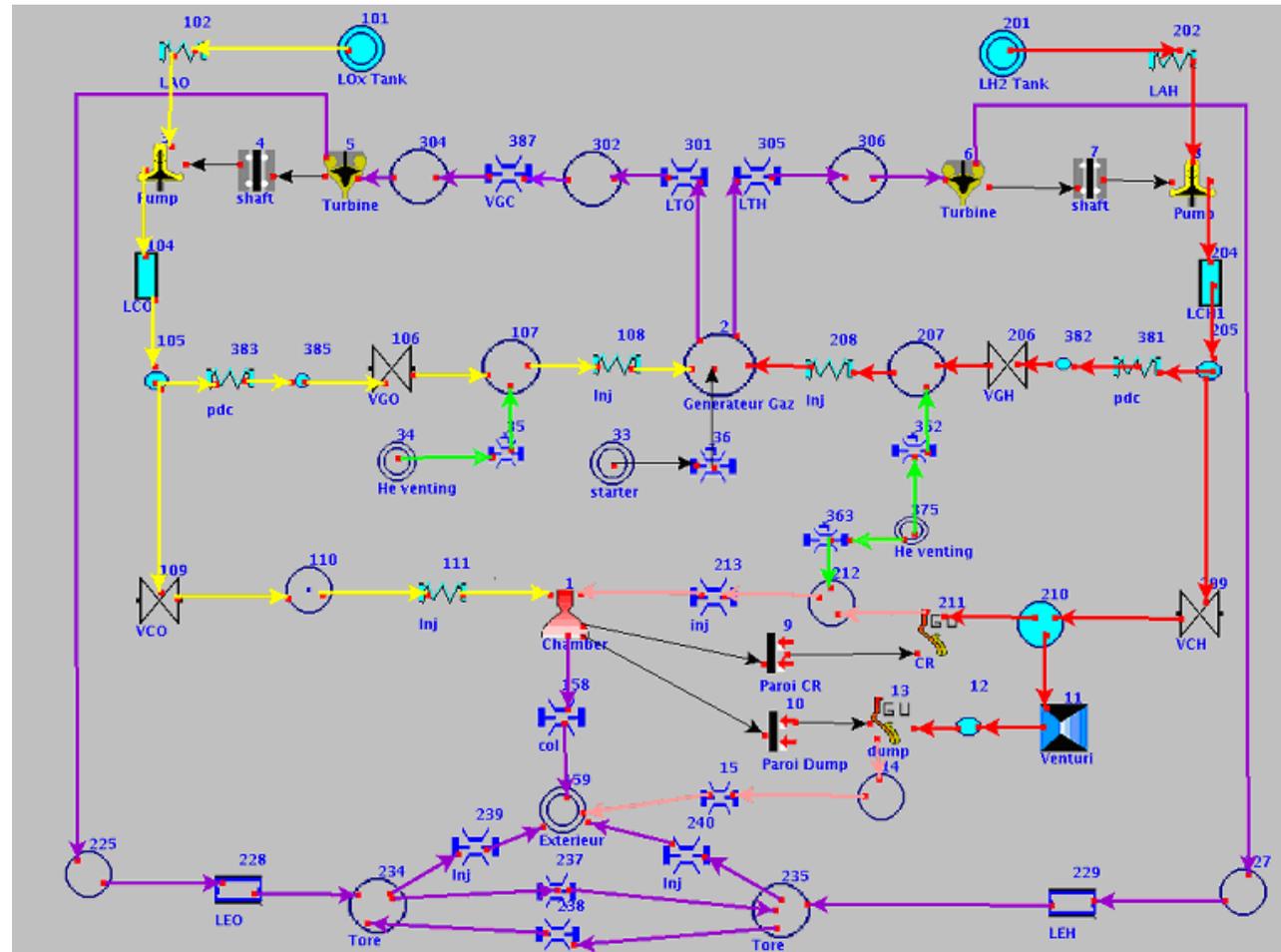


- Plus généralement **CARINS** résout des systèmes d'équations différentielles ordinaires et les équations algébriques et permet d'utiliser la cosimulation pour tous les autres problèmes

- 
- A vertical strip of four images is positioned on the left side of the slide. From top to bottom: a rocket launch, a satellite in orbit, a satellite in orbit, and a rocket launch.
- **GAM**, générateur automatique de modèles :
 - ◆ Fait appel à MAXIMA pour :
 - **Génération système équation à partir du SYNOPTIQUE**
 - **Tri des équations**
 - **Écriture du code source FORTRAN**
 - ◆ Link avec librairie de solveurs
 - ◆ Résolution (LSODA,LSODES)
 - **Avantages de CARINS**
 - ◆ **Optimisation du système équations grâce au tri des équations**
 - ◆ **puissance des outils de calcul numérique**
 - ◆ **facilité de co-simulation**

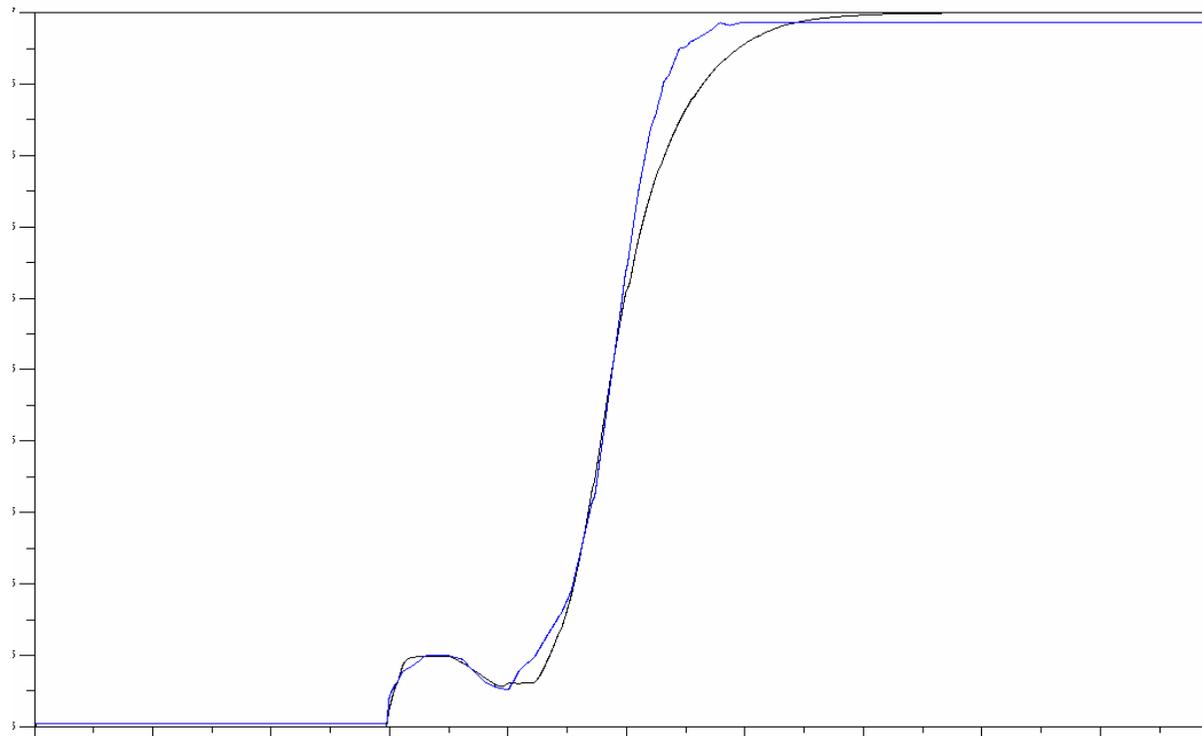
Un exemple de réalisation avec CARINS

Démarrage du moteur Vulcain 2 (1/2)



Un exemple de réalisation avec CARINS

Démarrage du moteur Vulcain 2 (2/2)



Pression du générateur de gaz



Logiciel CARDIM

CARMEN, atelier logiciel pour la simulation de systèmes propulsifs à ergols liquides

LMCS

17/04/2008



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

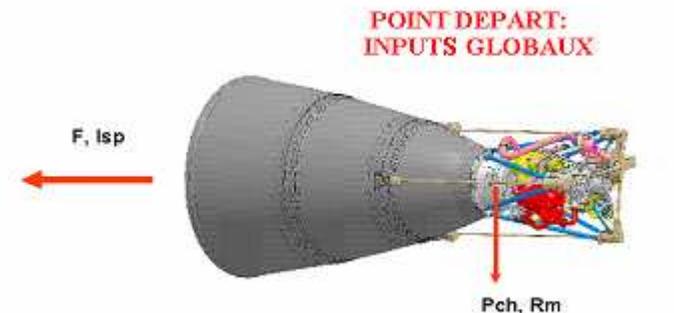
CARDIM objectifs

1/ CONCEPTION D'UN NOUVEAU MOTEUR

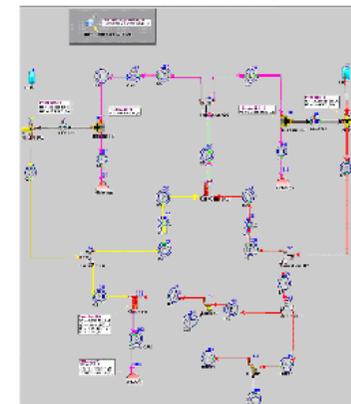
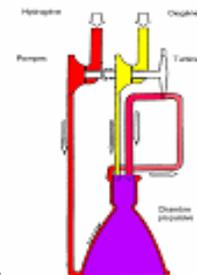
- ◆ CALCUL CYCLE THERMO
→ CARMOT
- ◆ DIMENSIONNEMENT SOUS-SYSTEMES
→ CARSYS

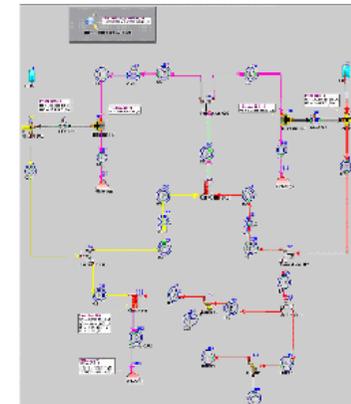
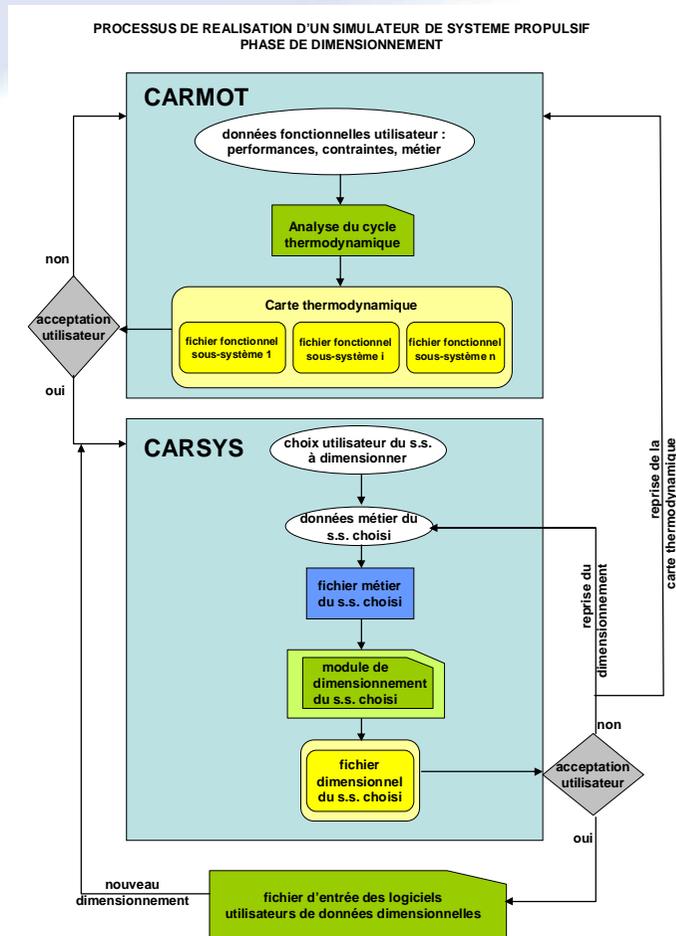
2/ ANALYSE DES IMPACTS DES MODIFICATIONS

- ◆ Calcul impact modifications sur le cycle et les performances



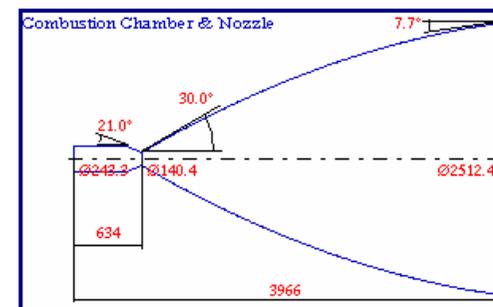
+





Géométrie calculées grâce aux modules **CARSYS**

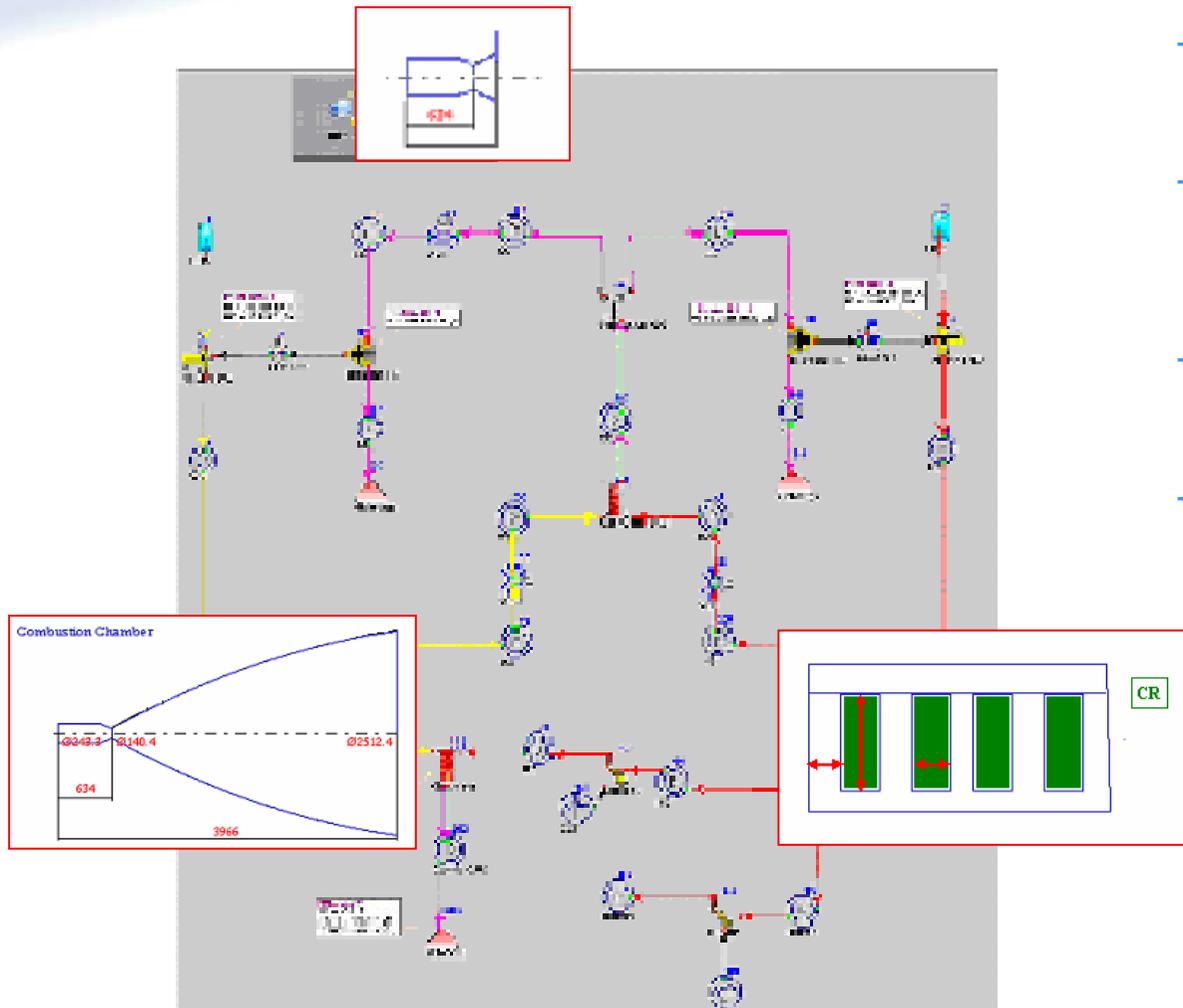
Ex:



OK?

- 
- **CARMOT: GAMAM**, générateur automatique de modèles algébriques :
 - ◆ Même structure de CARINS → EQUATIONS ALGEBRIQUES!
 - **CARSYS: GAMAS**, générateur automatique de modèles algébriques sous-systèmes:
 - ◆ Lecture des données d'entrée CARSYS
 - ◆ Lancement des modules externes de dimensionnement
 - Chambi
 - Creapom
 - Creatur
 - Dragon
 - Dimether
 - ◆ Transmet les résultats des modules à CARFONC
 - **Avantages de CARDIM**
 - ◆ Optimisation du système équations grâce au tri des équations
 - ◆ puissance des outils de calcul numérique
 - ◆ facilité de co-simulation

Résultats dimensionnements CARDIM



- **Chambi:**
 - Ex: longueur chambre, diamètre chambre, etc.
- **Creapom:**
 - diamètres, nombres aubages, hauteurs entrée/sortie, etc.
- **Creatur:**
 - Hauteurs, corde, déviations, etc.
- **Dragon:**
 - Profile tuyère, angle entrée/sortie divergent etc.
- **Dimether:**
 - Épaisseur ailette, hauteur canal, largeur canal, épaisseur canal



Conclusions et Perspectives

CARMEN, atelier logiciel pour la simulation de systèmes propulsifs à ergols liquides.

LMCS

17/04/2008



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

CONCLUSIONS

- **Potentiel** : analyse transitoires, identification paramétriques (CARINS), analyse de tout cycle thermodynamique de moteur études paramétriques facilement mises en œuvre (CARDIM)
- **Indépendance**: indépendance CNES vis-à-vis des modèles, des solveurs, des utilitaires (hors licence), facilité de distribution
- **Modélisations physiques** : modèles standards améliorés et possibilité de création modèles personnels, implantation de nouveaux modules de dimensionnement prévue.
- **Ergonomie** : IHM avancée, utilisation simple et rapide, temps de calcul amélioré.
- **Qualité** : bonne traçabilité des anomalies, retour d'information efficace, documentation complète, gestion de la configuration du logiciel et des simulateurs prévue.
- **Perspectives**: la cosimulation avec les codes CFD reste à organiser

→ CARMEN REpond AUX BESOINS DU CNES