

# APPEDGE

Consulting & Engineering

## **CARINS : Un logiciel de modélisation et de simulation pour les procédés industriels complexes**

*B. Legrand<sup>1</sup>, J. Masse<sup>1</sup>, V. Leudiere<sup>2</sup>, G. Albano<sup>2</sup>*

**<sup>1</sup>APPEDGE**

18-22, rue d'Arras

92000 Nanterre

<http://www.appedge.com>

[carins@appedge.com](mailto:carins@appedge.com)

**<sup>2</sup>CNES DLA**

Rond point de l'espace

91023 EVRY CEDEX

<http://www.cnes.fr>

- Présentation générale de CARINS
- Son fonctionnement
- Ses modèles
  
- Exemple d'application
  - Moteur GNV

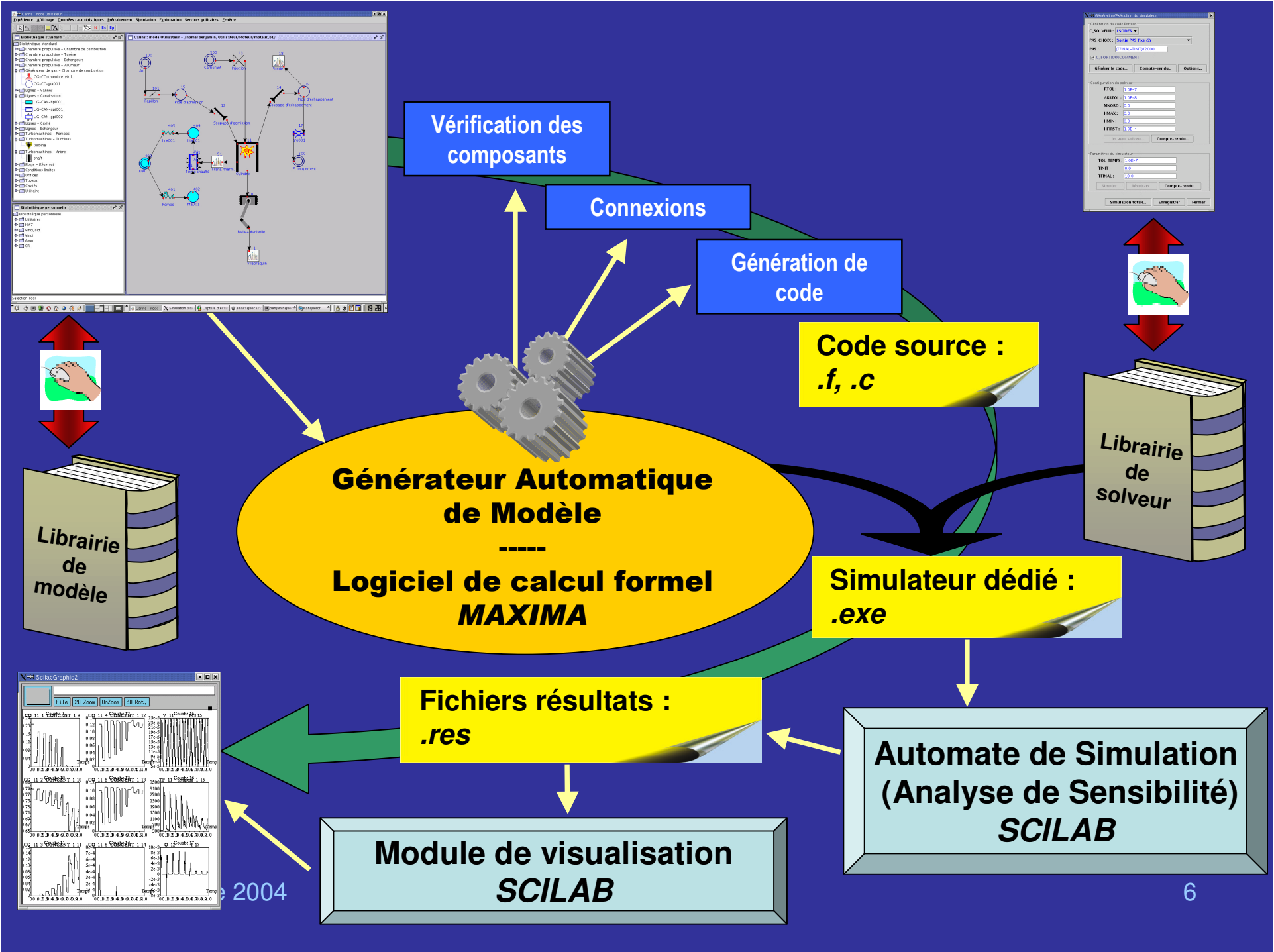
# Qu'est ce que CARINS ?

- Projet du CNES
- Logiciel de modélisation et de simulation basé sur une démarche système
- But : Reproduire l'évolution temporelle des grandeurs physiques qui caractérisent les systèmes de propulsion d'un lanceur spatial
- Pourquoi : Volonté du CNES de simuler finement les systèmes de propulsion, avec :
  - une mise en œuvre simple
  - un coût de développement de nouveaux modèles réduit
  - une rapidité de simulation

- Projet initié en 2001
- Intervenants :
  - CNES
  - ONERA
  - APPEDGE
  - Cap Gemini
  - Différents Laboratoires (Stix de l'école polytechnique, LEMTA de Nancy)
- Version 1.0 livré en 08/2004

- Une bibliothèque de composants riche et évolutive.
- Un formalisme simple pour incorporer des nouveaux modèles (langage C, fortran, ou directement sous CARINS)
- Des solveurs d'équations différentielles robustes et rapides accompagnés d'une stratégie d'intégration et d'une manipulation efficace des équations à l'aide d'un moteur de calcul formel.
- Une connectique libre entre composants ou choisit par l'utilisateur.
- Une absence de licence logiciel. CARINS est libre de toute licence.





# Formalisme mathématique

- Traite les systèmes d'équations différentielles ordinaire :

$$\dot{x} = f(x, t)$$

- Pour le traitement des modèles mathématiques différents de cette forme, EDP, résolution algébrique → Cosimulation
- Le rôle du calcul formel :
  - construit les équations
  - relie les éléments entre eux
  - réalise un test de causalité
  - génère automatiquement le simulateur autonome

# Intérêt d'un générateur de code

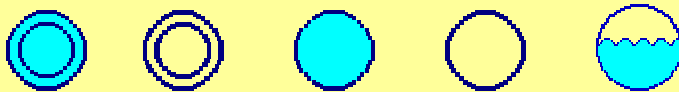
- Code généré est structuré et ordonné :
  - *.inc*, *.F*, fonction, procédure → Humainement lissible
  - Génération de code multi cible possible
- Inclusion de commentaire
- Efficacité du code généré :
  - Génération de ce qui est nécessaire (substitution, ...)
  - Rapidité de la compilation
  - Cohérence mathématique réalisé par le calcul formel (causalité)

⇒ **Robustesse et rapidité de la simulation**



## Exemples de modèle de la librairie

### Cavité



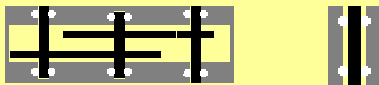
### Tuyau



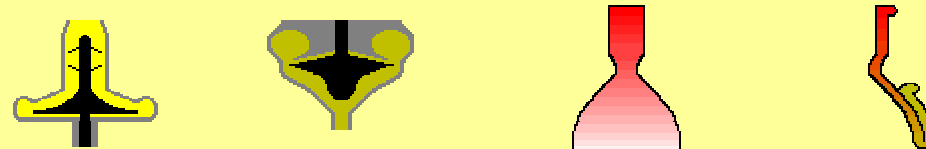
### Orifice



### Liaison mécanique



### Eléments spécifiques



Nombreux autres (de ce type mais aussi fonction de transfert, cosimulation, ...)

- Gaz / Liquide / Diphasique
- Multi-espèces
- CARINS utilise le formalisme d'Arrhenius, il permet donc d'introduire des mécanismes cinétiques complexes (sans limitation du nombre de réaction) pour représenter finement la partie cinétique.
- Formalisme générique (multi connexions, inversion de débit, mixte ...)

## Tableau de bord d'un élément

Support mathématique / informatique pour la description physique des modèles

- Maxima
- Fortran / C
- Equations explicites

*Ergonomie liée à l'utilisation du JAVA pour l'IHM*

**Modèle Physique :**

Id : MP1  
 Nom : gre001  
 Commentaire : gas resistance with dynamical equation  
 Observations...

**Système d'équations :**

E\_EVALSYS : ORIFICE  
 E\_ETATSAT :  
 E\_CIINIT :  
 E\_MAXIMAPARAM :  
 Commentaire : DEBIT

**Variables différentielles :**

Nom	A Valoriser	Défaut	Dynamique
X1	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>
X2	<input checked="" type="checkbox"/>	dzero	<input type="checkbox"/>

Ajouter Saisie libre

**Paramètres :**

Nom	A Val...	Défaut	Dyn...
FR	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>
FE	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>
KR	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>
KV	<input checked="" type="checkbox"/>	DZERO	<input type="checkbox"/>
M	<input checked="" type="checkbox"/>	DUN	<input type="checkbox"/>
S	<input checked="" type="checkbox"/>	MM2	<input type="checkbox"/>

Ajouter

**Equations différentielles :**

Act...	Equation Différentielle
<input checked="" type="checkbox"/>	[dx1[num], dx2[num], satsens[num]] = m_satur(xmin[num], xm...

Ajouter

**Equations globales explicites :**

Act...	Equation Globale Explicite
<input checked="" type="checkbox"/>	FGLVAN[NUM] = DZERO
<input checked="" type="checkbox"/>	FANTIR[NUM] = DZERO
<input checked="" type="checkbox"/>	[DEBITSENS[NUM], Q[NUM], TPAC[NUM]] = c_gre001(dble(...
<input checked="" type="checkbox"/>	TP[NUM] = TPAC[NUM]
<input checked="" type="checkbox"/>	XMIN[NUM] = DZERO
<input checked="" type="checkbox"/>	XMAX[NUM] = 80.0d0

Ajouter

Valider Annuler Appliquer

# Masque d'un élément

Construit automatiquement à partir du  
tableau de bord

Saisie :

- Conditions Initiales
- Paramètres

Forme :

- Numérique
- Expression symbolique

Masque de Papillon (101)

Objet moteur : Papillon

Id : 101

Libellé : Papillon

Modèle physique : gre001

Commentaire : gas resistance with dynamical equation

Paramètres :

Perte de charge  
KP[NUM] (C1) : DZERO

Surface  
S[NUM] (M2) : 60\*MM2\*X1[num]/80

Masse  
M[NUM] (KG) : 1.14d-3

FROTTEMENT VISQUEUX  
KV[NUM] (C1) : DUN

raideur du ressort  
KR[NUM] (N) : 100.0

FORCE EXTERIEURE  
FE[NUM] (N) : KR[num]\*UC[num]

Saisir les valeurs en unité S.I.

Affecter chrono...

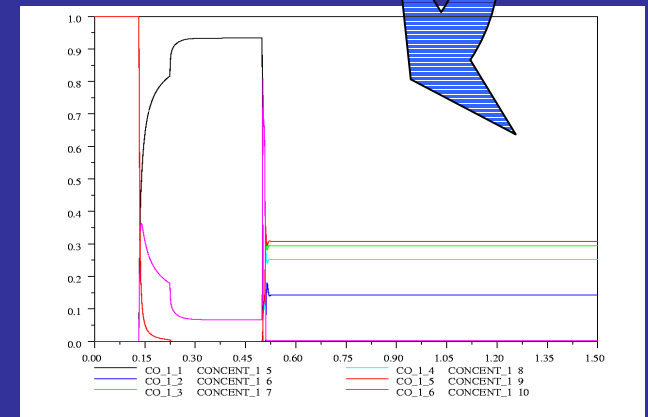
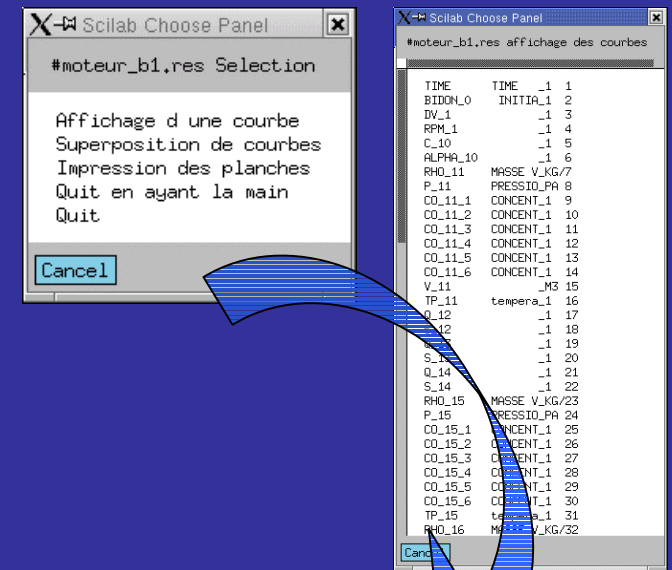
Valider Annuler Appliquer Aide...

## Modèles évolués : 2 exemples

- Un modèle de tuyau 1D.
  - simulation des écoulements instationnaires et compressibles de gaz non parfaits.
  - conduites pouvant présenter des changements de section
  - traite des écoulements diphasiques homogènes
  - traite les transferts de chaleur à la paroi
  - traite les ondes de pressions (ou coups de bélier).
- Un modèle de chambre de combustion complet
  - injection liquide
  - formation de goutte
  - vaporisation
  - cinétique en phase gazeuse.

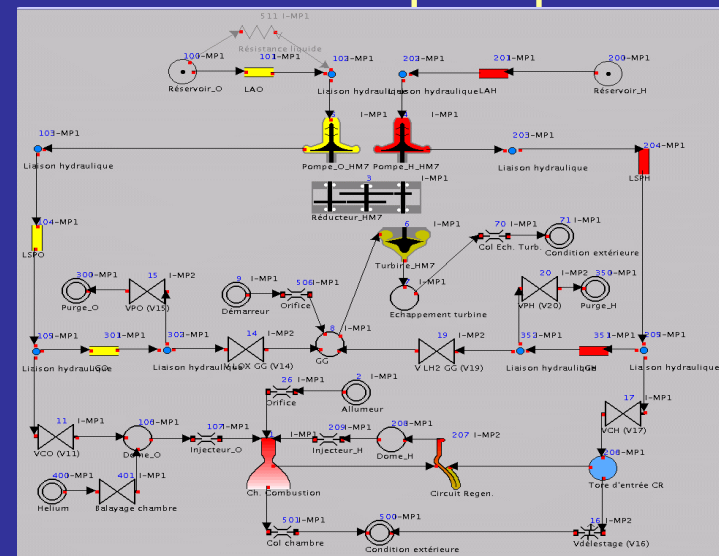
- CARINS manipule des variables / paramètres scalaires ou vectoriels.
- Les variables d'un objet sont accessibles dans tous les autres éléments du synoptique.
- Les possibilités :
  - la notion d'*amont* et d'*aval*
  - la notion de port du type schéma blocs
  - la notion de multiport de type entrant 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).

- Automate pour la simulation
  - Script pour l'étude paramétrique
- Etude de sensibilité
  - Coefficient de variation, Ecart Type
- Module de visualisation
- Traitement des données
  - analyse des résultats de simulation
  - filtre, analyse fréquentielle
- Identification et recalage (en cours)



# Résultats de CARINS

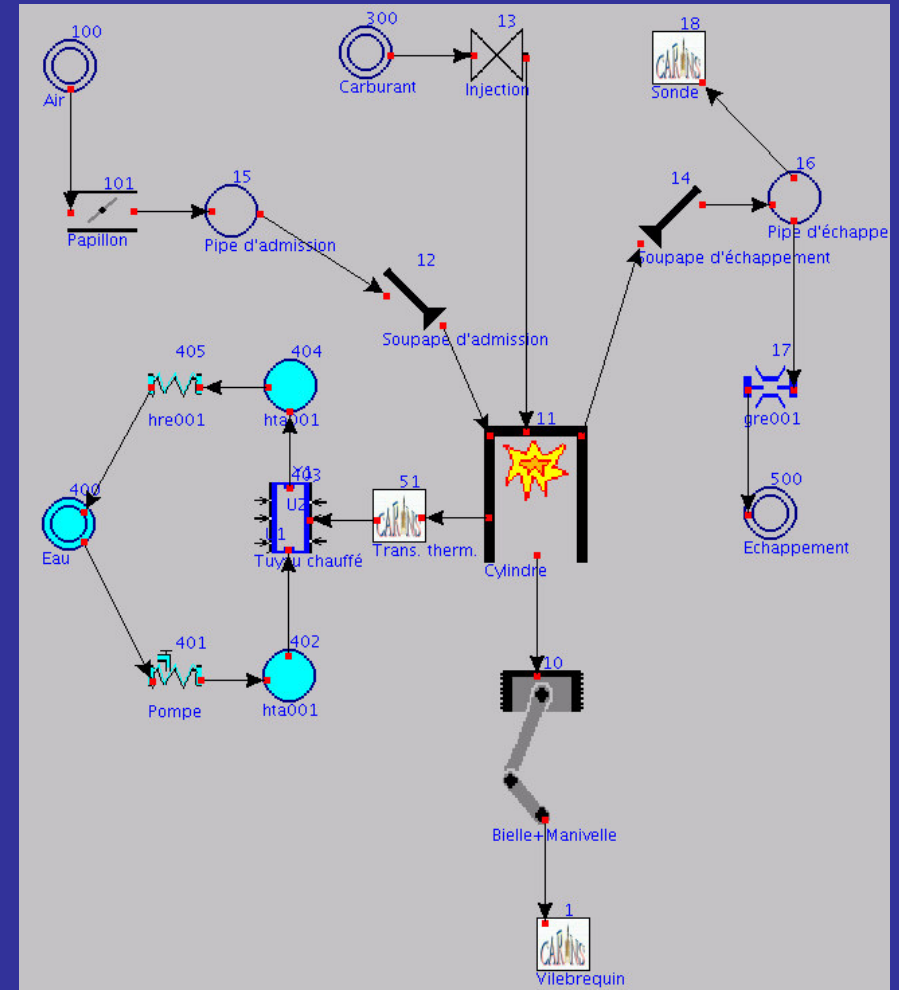
- Pour des besoins internes à la DLA du CNES
- CARINS nous a permis de simuler :
  - le transitoire du démarrage d'un moteur de fusée à ergol liquide
  - le système d'équilibrage axial d'une turbopompe.





## Exemple moteur GNV

- Mécanique (piston avec butées)
- Ecoulements gazeux (admission, chambre de combustion et échappement)
- Cinétique chimique
  - Réaction globale de combustion
  - Réaction globale de formation de NO
- Transferts thermiques (chambre de combustion et circuit de refroidissement)
- Circuit hydraulique (syst. de refroidissement)
- Régulations (papillon et injection)



# Compilation et Exécution du simulateur

Compilation et Link de moteur\_b1.f genere par carins -Nn3208 -  
NC300 -f

Execution

\*\*\*\*\*



\*\* Debut de la Simulation \*\*

=====  
Caracteristiques de l'etude

Fichier resultat : moteur\_b1.res

# Solveur : LSODES

# Date du modele : 23/11/2004 16:37:41

# Valeurs du plan d'experience :

## TINIT = .00000

## TFINAL = 2.00000

## RTOL = 1.000000E-07

## MXORD = .00000

=====

SIMULATION : 1

SIMULATION : 2

....

SIMULATION : 98

SIMULATION : 100

=====  
Statistiques sur la simulation

Nombre d'appels du systeme : 2111250

Nombre de calculs du jacobien : 86398

Nombre de pas d'integration : 119026

Prochain pas d'integration : 1.0946799E-13

=====

\*\* Fin de la Simulation \*\*

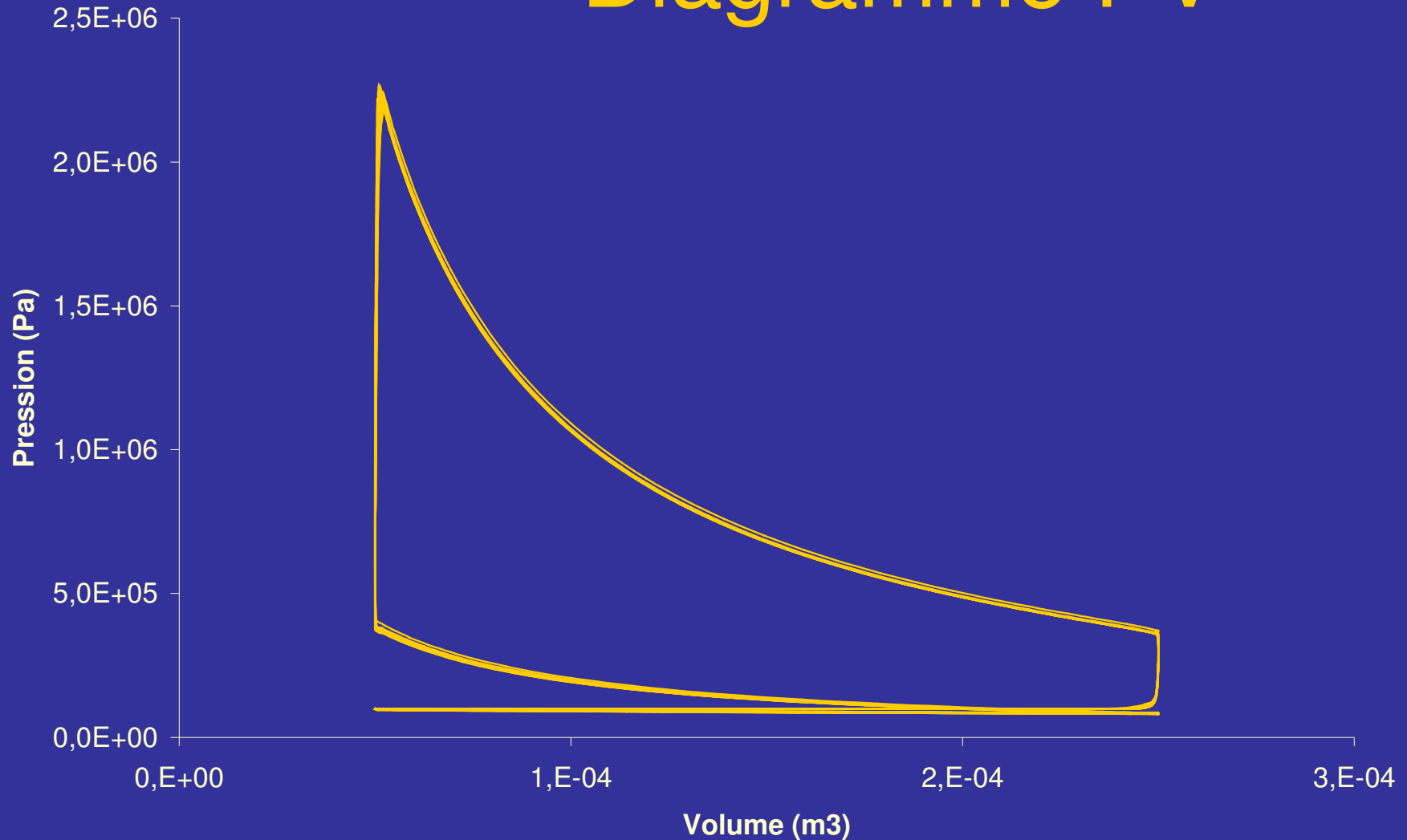
Génération du code : *15 secondes*

*45 équations différentielles*

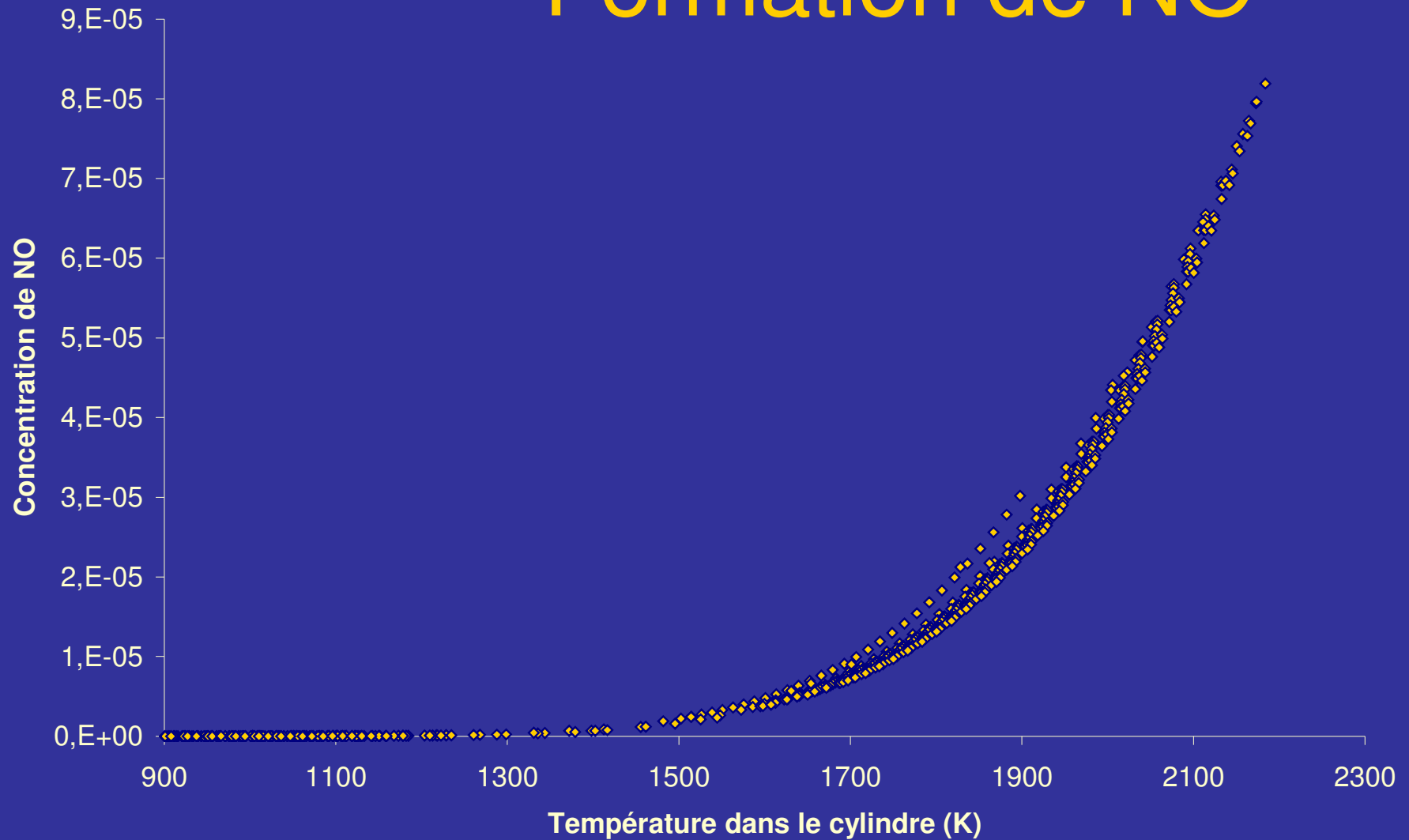
Exécutable autonome : *440 ko*

2 s temps réel (16 cycles) → 2 min  
de simulation

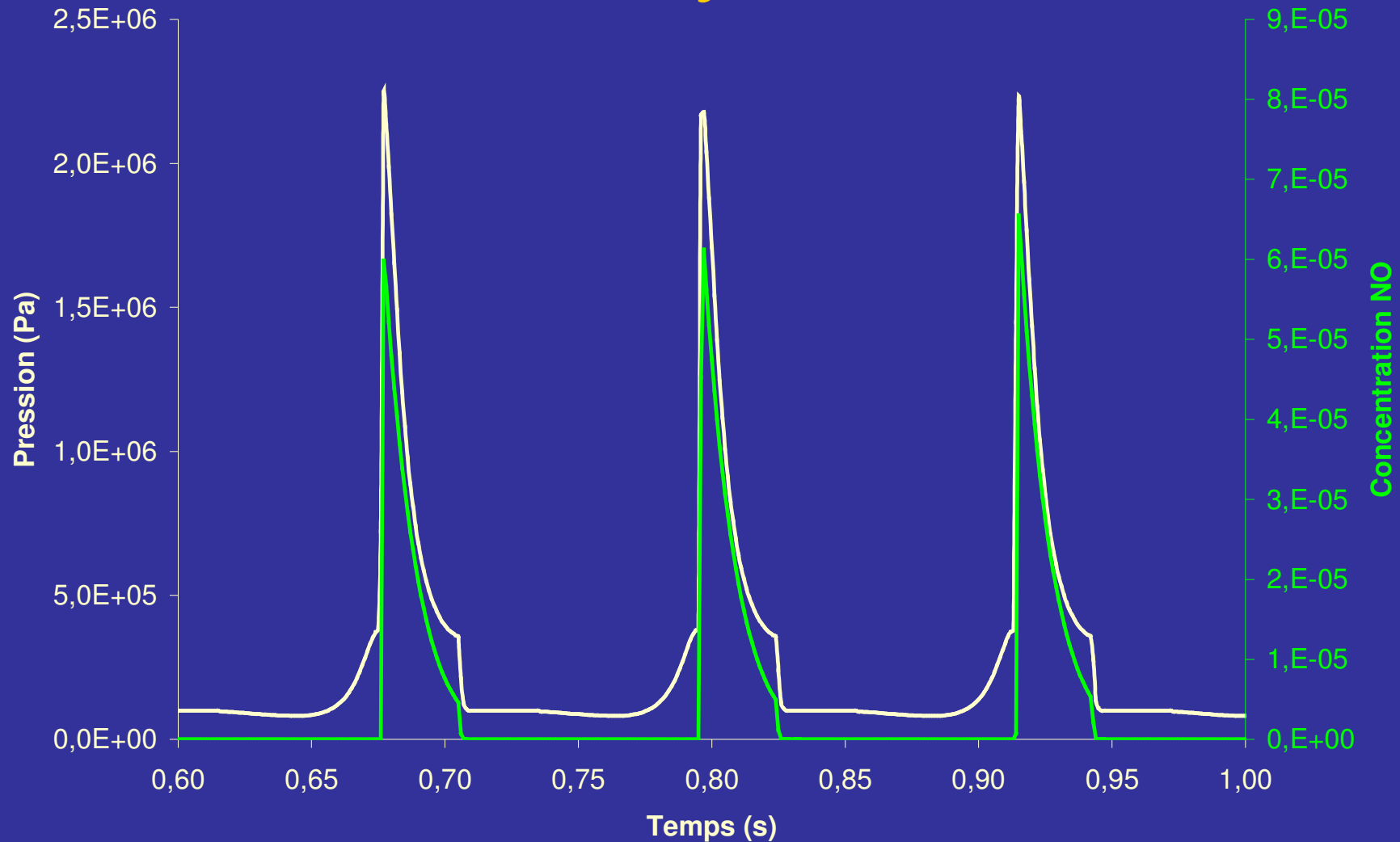
## Résultats : Diagramme PV



## Résultats : Formation de NO



## Résultats : 3 cycles moteurs



- CARINS est un logiciel complet aujourd'hui opérationnel.
- Au travers de CARINS, le CNES a pu capitaliser son savoir faire dans la conception de moteur de fusée en ayant la maîtrise des modèles physiques, des solveurs et ainsi du simulateur total.
- Le CNES et APPEDGE continuent à l'enrichir.

# APPEDGE

## Maîtrise des domaines

Calcul Scientifique /  
Simulateur  
Énergétique / Chimie  
Automatique  
Traitement du signal  
Calcul formel  
Système temps réel /  
Calculateur

⇒ Brevets

## Partenariats

Universitaires : CRAN, LFC, STIX  
Laboratoires / écoles : CMA,  
ENSAIM, INRIA

## Projets :

### Fonctionnement

Ingénierie  
R&D  
Audit  
Expertise / Conseil  
Assistance technique

**Maîtrise des filières  
d'outils de conception.  
Utilisation d'outils internes**

Modélisation &  
simulations des  
procédées complexes

Spécification

Analyse de sensibilité

Identification

Recalage de paramètres

Optimisation

Outils d'analyse des signaux instationnaires

Contrôle / commande

Stabilité

Platitude (boîte à  
outils)

Conception d'outil de génération de code

Prototypage / identification en temps réel

Formation logiciel:

Maple, Matlab/Simulink,  
Maxima, Scilab, Esterel

Développement d'outils  
métiers

IHM, Simulateurs spécifiques

Spécification logiciel