

Entretiens Louis le Grand 2005 ■  
**Enseignants de Sciences Economiques et Sociales – Entreprises**

Lundi et mardi 29 et 30 Août 2005

« Les entreprises, acteurs de la recherche et de l'innovation »

---

# La simulation Haute Performance: un outil stratégique pour la compétitivité des Etats et des entreprises

CS Communication et Systèmes



## Sommaire

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>COMMUNICATION ET SYSTEMES : DE LA COMPAGNIE DES SIGNAUX A L'INTEGRATION DE SYSTEMES CRITIQUES</b> .....	<b>4</b>
LES GRANDES DATES QUI ONT MARQUE L'HISTOIRE DU GROUPE.....	4
CS AUJOURD'HUI.....	4
<b>FONDEMENTS ET EVOLUTIONS DE LA SIMULATION NUMERIQUE</b> .....	<b>5</b>
LES ORIGINES DE LA SIMULATION NUMERIQUE.....	5
LA SIMULATION HAUTE PERFORMANCE (HPC POUR « HIGH PERFORMANCE COMPUTING »).....	6
<i>Qu'est-ce que la Simulation Haute Performance ?</i> .....	6
<i>La domination des USA</i> .....	8
PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION DU CALCUL HAUTE PERFORMANCE.....	10
PRINCIPALES ACTIVITES DE CS EN SIMULATION HAUTE PERFORMANCE .....	10
<b>LES ENJEUX DE LA SIMULATION NUMERIQUE HAUTE PERFORMANCE</b> .....	<b>12</b>
SECURITE ET DEFENSE DU TERRITOIRE.....	12
LA COMPETITIVITE DES ENTREPRISES .....	13
UNE COMPETITIVITE A CONQUERIR .....	15
<i>L'Europe et la France distancées</i> .....	15
<i>Une réponse de la France : le pôle de compétitivité System@tic et le projet IOLS</i> .....	16
<b>UN EXEMPLE D'UTILISATION INTENSIVE DU CALCUL HAUTE PERFORMANCE : LA MISE AU POINT PAR CS D'UN SERVICE DE SOUFFLERIE NUMERIQUE</b> .....	<b>19</b>
LES MODELES .....	19
CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES A LA POINTE .....	19
AVANTAGES DE LA SOUFFLERIE NUMERIQUE HAUTE PERFORMANCE.....	20
ACCES POUR UN CLIENT A UNE SOUFFLERIE NUMERIQUE .....	20
LES CLIENTS .....	20
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>21</b>
<b>ANNEXE 1 CS EN CHIFFRES</b> .....	<b>22</b>
<b>ANNEXE 2 LE POLE DE COMPETITIVITE SYSTEM@TIC</b> .....	<b>26</b>



## Introduction

---

L'innovation peut être définie comme l'utilisation économique d'inventions, fruit de la relation entre recherche fondamentale, recherche appliquée et développements industriels.

L'innovation est un facteur central de la compétitivité globale, c'est-à-dire de l'aptitude à conserver et à augmenter les parts de marché d'un Etat, d'une entreprise.

La simulation numérique consiste à valider des systèmes complexes, des produits et des processus selon certains critères (résistance thermique, mécanique...) par des moyens informatiques matériels et logiciels qui se substituent aux essais.

La simulation numérique représente un enjeu stratégique important au niveau militaire et au niveau économique, dans un contexte mondial de plus en plus concurrentiel et dominé par la puissance américaine. Cela a été largement reconnu par les pouvoirs publics à travers le choix du pôle de compétitivité « SYSTEM@TIC » parmi les 5 pôles à visibilité mondiale.

CS est une société spécialisée dans la conception, l'intégration et l'exploitation de systèmes critiques (systèmes mettant en jeu des vies humaines, à taux de panne devant tendre vers zéro), leader en Europe de la simulation numérique haute performance. Dans le cadre du pôle de compétitivité « SYSTEM@TIC », CS coordonne le projet de recherche IOLS (Infrastructures et Outils Logiciels pour la Simulation). Ce projet qui regroupe les acteurs majeurs dans le domaine de la simulation (grands industriels, centres de recherche, grandes écoles et universités, éditeurs de logiciels, ...) a pour objectif de réduire le retard de l'Europe en matière de logiciels scientifiques adaptés aux calculs haute performance stratégiques pour les années à venir.

On s'attachera dans l'étude présentée ici à montrer les fondements de la simulation numérique et plus particulièrement de la simulation haute performance. On exposera les éléments qui font de la simulation un outil de compétitivité des entreprises et des Etats en expliquant pourquoi son développement est un enjeu majeur pour la France et pour l'Europe. On mettra en lumière la contribution de CS à cette entreprise.



## **Communication et Systèmes : de la Compagnie des Signaux à l'intégration de systèmes critiques**

---

### **Les grandes dates qui ont marqué l'histoire du groupe**

#### **1902**

Création de la Compagnie des Signaux et d'Entreprises Electriques par Francis Cumont, un pionnier de la signalisation électrique pour les chemins de fer et le métropolitain. La société devient la référence majeure dans les domaines mécaniques, électriques puis électromécaniques.

#### **Années 50**

CS prend le virage de l'électronique pour l'appliquer à la signalisation, aux télécontrôles et aux télémessures. La société s'impose alors sur des marchés en pleine croissance : télécoms, défense, transports.

#### **1991-1997**

Cette période est marquée par un recentrage sur les technologies de l'information, en particulier par croissance externe (acquisition du groupe Cisi et de Philips Communication d'Entreprise en avril 97).

#### **Janvier 1999**

Regroupement des activités systèmes, réseaux et services informatiques autour de la marque ombrelle CS Communication & Systèmes, offrant une expertise et une expérience uniques grâce à la synergie de ses compétences.

#### **Avril 2000**

Le groupe CS est exclusivement centré sur les activités de services informatiques.

#### **2000-2004**

Le groupe CS poursuit sa focalisation comme acteur majeur de la conception, de l'intégration et de l'exploitation d'applications et d'infrastructures critiques.

### **CS aujourd'hui**

*Voir annexe 1 page 22*

Le groupe CS, présidé par Yazid Sabeg, président du Conseil d'administration, dirigé par Eric Blanc-Garin, directeur général exécutif, réalise un chiffre d'affaire consolidé de 348 millions d'euros en 2004, avec 3200 salariés et 9 filiales à l'étranger. Leader en France dans le domaine spatial et le trafic aérien, au niveau européen dans la réalité virtuelle et la simulation numérique, son activité est à 87,5% réalisée en France, le Ministère de la Défense étant son principal client.

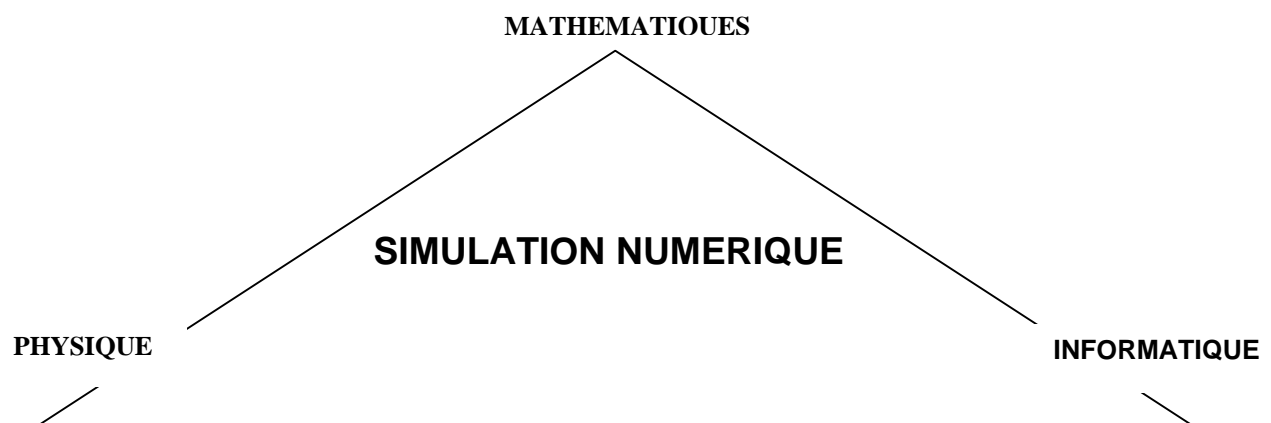


# Fondements et évolutions de la simulation numérique

---

## Les origines de la simulation numérique

La simulation numérique est née de la synthèse des trois disciplines que sont la physique appliquée, les mathématiques et l'informatique. Par l'utilisation des ordinateurs, la résolution exacte de problèmes physiques simples par la mise en équations mathématiques et leur résolution analytique laisse la place à la résolution numérique approchée de problèmes physiques complexes, selon le principe de la modélisation via la discrétisation de la géométrie et des champs recherchés (déplacements, déformations, contraintes, ...). In fine, on aboutit à la résolution de très grands systèmes linéaires ou non-linéaires que des méthodes algorithmiques appropriées, ainsi que la puissance accrue des ordinateurs ont rendu possible.



Source : *Fondements de la Simulation Numérique* (Duysens & Jezequel, Cours Ecole Centrale de Lyon « Maquettage Numérique », 1999)

## Les avantages de la simulation numérique

- résolution de problèmes complexes et de taille importante
- méthode automatisée
- méthode intuitive pour l'ingénieur
- diminution progressive des essais
- tests rapides de solutions différentes
- domaines d'application très nombreux

Le point de départ de la simulation numérique est la constitution d'un « maillage » c'est-à-dire du découpage (« discrétisation ») d'une surface ou d'un volume en « éléments » locaux, chaque élément comportant un certain nombre de nœuds. Ainsi, la solution globale du problème (en terme de déformations sous effort de crash, par exemple) revient à une

« somme » de solutions locales que l'on va pouvoir approcher facilement par des fonctions mathématiques (polynômes).

On voit dans l'image qui suit l'exemple du maillage d'un véhicule automobile. Celui-ci permet ensuite d'évaluer informatiquement une série d'effets (réponse du modèle discrétisé) à des chargements extérieurs (mécanique, thermique, aérodynamique...). L'intérêt majeur est non seulement de réduire les essais (mais pas de les supprimer car ils restent nécessaires à la validation des modèles) et les coûts qu'ils génèrent mais aussi d'étendre par voie numérique les possibilités de tests (réalisation de plans d'expérience numérique permettant l'étude d'un grand nombre de paramètres : matériaux, géométriques...) et donc d'optimisation.



Source : *Modèle éléments-finis simplifié d'un véhicule (CITE'M 2003, Pau, Supercomputing Industrial Applications in the 21 st century, Farhat & Duysens)*

## La simulation haute performance (HPC pour « High Performance Computing »)

### Qu'est-ce que la Simulation Haute Performance ?

La simulation haute performance naît de l'ambition de simuler des problèmes de plus en plus complexes, tels que des crashes de véhicule ou des explosions nucléaires par exemple. Plus le problème est complexe et plus en général le modèle de discrétisation nécessaire devra être fin pour capter correctement les phénomènes physiques. Par exemple, plus la fréquence des phénomènes à capter est haute (acoustique, turbulence, ...) et plus la taille des mailles devra être petite pour capter correctement ces fréquences.

Par exemple, pour simuler la propagation d'un faisceau laser dans un plasma (reproduction des conditions physiques rencontrées lors du fonctionnement des armes nucléaires), le domaine de calcul (interaction d'un faisceau laser avec un plasma long de 0,56 millimètre et large de 0,24 millimètre) a été découpé en un demi milliard de mailles !<sup>1</sup>

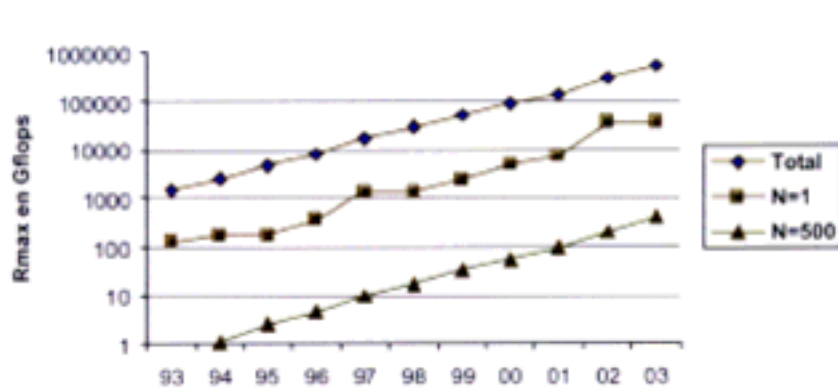
<sup>1</sup> Source : Les défis du CEA Le magazine de la recherche et de ses applications ; N° 102 Novembre-Décembre 2004 Calcul « Grand Challenge Hera-ILP »



Ainsi la simulation haute performance est largement initiée par la demande publique militaire qui doit faire face à l'arrêt des essais nucléaires (1995 aux Etats-Unis, 1996 en France). Le programme américain initié par le DOE (Department of Energy) est le programme ASCI (Accelerated Strategic Computing Initiative) et le programme français est le programme Simulation, piloté par la Direction des Applications Militaires du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique).

Les évolutions de la simulation haute performance dépendent fortement des innovations du matériel informatique, qui conformément à la loi de Moore voit la puissance des ordinateurs doubler tous les 18 mois.

### Evolution de la performance des 500 plus gros ordinateurs <sup>2</sup>



Source : ORAP 1994-2004 « Promouvoir le calcul haute performance »

Ces innovations sont à l'origine du « calcul parallèle » permis par la mise en place de plateformes parallèles ou machines multiprocesseurs (processeurs interconnectés). Celui-ci s'avère décisif pour la résolution de problèmes particulièrement complexes qui requièrent une puissance de calcul considérable. On voit naître dans les années 90 des systèmes à mémoire partagée et à mémoire distribuée.

Des innovations dans les logiciels, au niveau algorithmique, sont également indispensables : si on veut tirer tout le parti de la puissance d'une machine parallèle, il faut que les logiciels soient eux-mêmes parallélisés, c'est-à-dire optimisés pour tourner sur des machines parallèles. En d'autres termes, il faut organiser les logiciels et les solveurs associés (algorithmes de résolution) de façon à ce que des résolutions partielles (sur un morceau de la structure complète par exemple) puissent tourner sur un ou une partie des

<sup>2</sup> Ce graphique (échelle semi logarithmique) montre l'évolution de la performance, mesurée en Giga flop/s (Un milliard d'opérations flottantes par seconde) des 500 ordinateurs les plus puissants installés dans le monde. N=1 représente l'ordinateur le plus puissant, N=500 l'ordinateur le moins puissant



processeurs de la machine, tout en respectant les conditions d'interfaces entre les différents domaines résolus sur les différents processeurs.

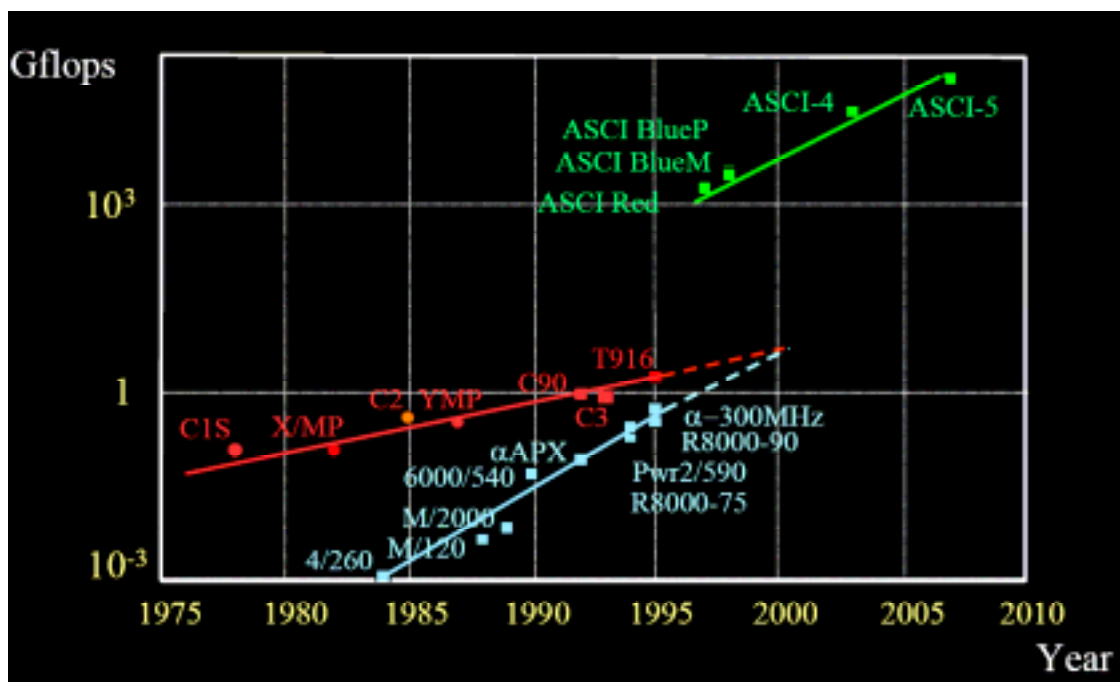
Dans l'exemple de l'interaction faisceau laser-plasma, les mailles sont des « morceaux » de la simulation. L'espace dans lequel se déroule le phénomène simulé est divisé en cubes élémentaires, les mailles. Chaque processeur du supercalculateur sur lequel est effectué le calcul n'a alors à s'occuper que d'un paquet de mailles et non plus la totalité du volume.

Pour un tel calcul, 900 des 2650 processeurs de la machine Tera 1<sup>3</sup> du CEA ont été utilisés, chacun prenant en charge environ 600 000 mailles.

L'interaction du faisceau laser avec le plasma a pu être reproduite pendant 0,06 milliardième de seconde ! Le traitement de ce minuscule volume a nécessité un peu plus de 10 heures de calcul.<sup>4</sup>

### La domination des USA

#### Evolution de la puissance des supercalculateurs-positionnement des machines US du programme ASCI



droite verte : machine du programme ASCI/ droite rouge : premiers supercalculateurs/ droite bleue : plates-formes multiprocesseurs basées sur les nouvelles générations de microprocesseurs

source : CITE'M 2003, Pau, Supercomputing Industrial Applications in the 21 st century, Farhat & Duysens

<sup>3</sup> Installé depuis 2001 dans 2000 mètres carrés de salles climatisées, à 9 mètres sous terre, le supercalculateur Tera 1 compte 2650 processeurs reliés par réseau ultra-rapide comportant 90 Km de câbles. Il développe une puissance crête de 5 Tflop/s (5000 milliards d'opérations flottantes à la seconde). En 2006, il sera remplacé par Tera 10 qui affichera une puissance crête d'environ 50 Tflop/s.

<sup>4</sup> source : voir note 1



Les Etats-Unis, poussés par des moyens publics considérables, ont une position de leader en matière de simulation haute performance, tant au plan de la construction des systèmes (90% des 500 systèmes les plus puissants ont été fabriqués par ce pays), qu'au plan de leur installation et de leur utilisation. Cette position de leadership est encore plus forte dans le domaine des logiciels de simulation numérique.

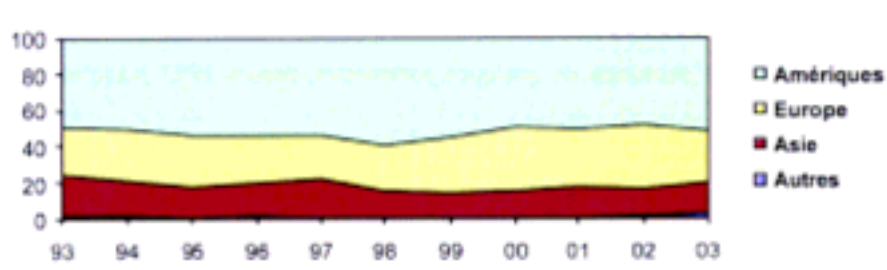
Cette position résulte d'une action volontariste combinée des agences fédérales, en particulier la DARPA (Défense) et le DoE (Department of Energie), de grands industriels et des universités.

En 1995, le programme ASCI (Accelerated Strategic Computing Initiative) lancé pour compenser l'arrêt des essais nucléaires, va jouer un rôle décisif. Il conduit à construire des ordinateurs surpuissants, tel ASCI-White à Los Alamos, d'une puissance de 12 Téra flops. Un ordinateur IBM d'une puissance attendue de 200 Téra flops vient d'être mise en service. Un ordinateur petaflopique (  $10^{15}$  flop/s soit 1000 téra flop/s) est attendu sous peu dans un laboratoire américain !

D'autres programmes ambitieux vont contribuer au leadership américain dans le calcul haute performance et générer des synergies favorables à la compétitivité globale du pays. Le programme SciDAC lancé en 2001 et motivé par le constat que l'informatique doit permettre de comprendre les lois fondamentales de la nature et de prédire le comportement de systèmes vastes et complexes (tels que les changements climatiques par exemple) offre annuellement 51 M\$ à des projets couvrant les domaines d'application suivants : programmation scientifique avancée, chimie et énergie chimiques, biologie et environnement, énergie de fusion, hautes énergies et physique nucléaire. En parallèle des moyens importants sont donnés pour faire progresser les outils mathématiques et les codes scientifiques, base des calculs haute performance.

Ces éléments donnent aux Etats-Unis un avantage décisif sur ses concurrents, en particulier européens.

### Distribution géographique des 500 plus gros ordinateurs (en %)



Source : ORAP 1994-2004 « Promouvoir le calcul haute performance »

D'autres concurrents sérieux occupent une place importante ou en voie de l'être dans le calcul haute performance. En premier lieu le Japon qui possède de grands constructeurs avec Fujitsu, Hitachi ou NEC, à l'origine d'un des plus puissants calculateurs au monde, le



« Earth Simulator », dont l'objectif est notamment de répondre aux besoins de simulation en matière de changements climatiques et de tremblements de terre.

La Chine a également de grandes ambitions dans ce domaine : le supercalculateur « DeepComp 6800 » mis en place en 2003 qui intègre la 14<sup>ème</sup> place au top 500 n'est qu'une illustration de l'effort considérable mené pour se hisser au premier rang.

## Principaux domaines d'application du calcul haute performance

Les domaines d'application sont nombreux. On peut citer les domaines principaux suivants :

- Mécanique des solides – thermique – thermomécanique
- Vibrations
- Acoustique
- Mécanique des fluides
- Aérodynamique – aérothermique – aéroélasticité
- Feu - Explosions - combustion
- Dynamique rapide : crash, impacts
- Neutronique
- Biologie moléculaire
- Chimie
- Météorologie (couplage océans-atmosphère)
- Banques, assurances, marchés boursiers (simulation haute performance de la gestion des risques)

Aujourd'hui, il n'est pas rare d'avoir affaire à des modèles comportant plusieurs centaines de millions de cellules, comme par exemple en aérodynamique pour la modélisation des couches-limites (écoulement au voisinage d'une paroi et générant des phénomènes de traînée).

Ces modèles peuvent être encore plus fins, lorsqu'il s'agit de modèles météorologiques couplant océan et atmosphère à l'échelle de la planète. L'évolution des solutions des équations des physiques mises en jeu sont résolues dans le temps sur des maillages de plusieurs centaines de millions de mailles de demi-heure en demi- heure sur l'étendue d'un siècle. C'est ainsi que l'on arrive, par exemple, à prédire pour le siècle suivant un réchauffement moyen de la planète compris entre 1 et 4,5 degrés centigrades (moyenne sur trente ans), le résultat dépendant des modèles météo (il y en a une quinzaine de référencés) et des hypothèses sur les émissions de gaz carbonique (effet de serre) au cours des années à venir.

## Principales activités de CS en simulation haute performance

CS est plus particulièrement positionné sur les domaines suivants :

-Réalisation de grands calculs complexes permettant de simuler des systèmes complexes globaux (systèmes de systèmes) et leurs interactions multiples.

-Optimisation/parallélisation de codes de calcul sur des supercalculateurs massivement parallèles



-Benchmarks et optimisation de codes recherche en avance de phase par rapport aux codes commerciaux du marché

-Développement d'outils spécifiques au calcul haute performance et ce au niveau pré-traitement, solveurs, post-traitement (visualisation haute performance de grands volumes de résultats)

-Fourniture d'un service de passage de très grands calculs en mode ASP via l'initiative Ter@tec<sup>5</sup>

-Support applicatif du CCRT (Centre Commun de Recherche et de Technologie du CEA) pour ses partenaires (CEA, Snecma Moteur, Turbomeca, Onera, EDF)

---

<sup>5</sup> initiative du CEA et association aujourd'hui regroupant grands industriels, centres de recherches, SSII, pour le développement d'un grand centre européen d'excellence en simulation haute performance, à Bruyères-le-Châtel

## Les enjeux de la simulation numérique haute performance

---

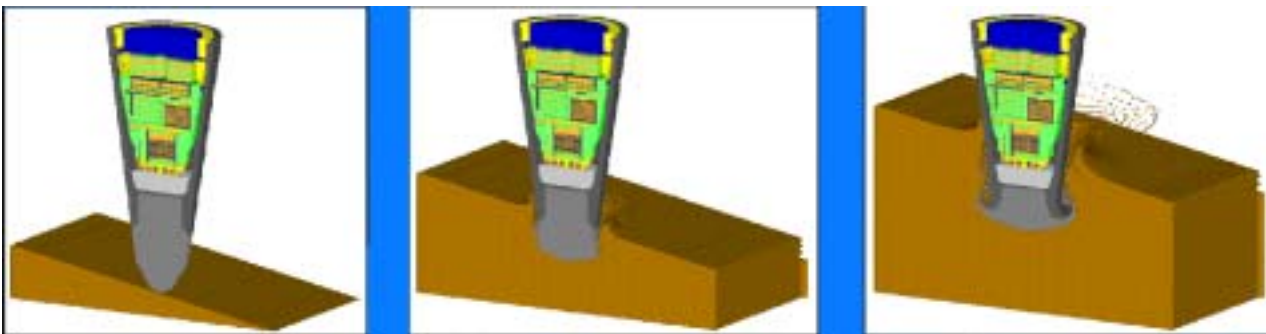
Etre au meilleur niveau en Simulation Numérique Haute Performance permet pour un état d'utiliser cette « arme économique » à de multiples services ayant trait d'une part à la sécurité du territoire et d'autre part à la compétitivité de son tissu industriel.

### Sécurité et défense du territoire

Il s'agit d'utiliser la simulation haute performance pour

- la mise au point des armes de défense stratégique

#### Simulation de l'impact d'un missile dans une infrastructure en béton



- la protection du territoire contre des attaques terroristes

#### Simulation expérimentale du crash d'un avion dans une infrastructure de centrale nucléaire



Source : (CITE'M 2003, Pau, *Supercomputing Industrial Applications in the 21 st century*, Farhat & Duysens)



- la simulation des catastrophes naturelles et de leur impact sur les infrastructures (séismes, tsunami, ...)
- la simulation de la météorologie

## La compétitivité des entreprises

Les outils de simulation constituent aujourd'hui un maillon essentiel de la conception de nouveaux produits et services, facteur de productivité du développement des produits et de performance des systèmes.

Rares sont aujourd'hui les objets industriels dont le développement n'est pas mis au point, au moins partiellement, grâce à la simulation.

La simulation permet en effet

- de réduire le volume des essais nécessaires au développement de nouveaux produits industriels et donc les coûts de développement
- de réduire les délais de développement
- de développer des produits mieux optimisés
- de développer rapidement des objets toujours plus complexes en terme de niveaux de prestations
- de mieux intégrer les différents compromis imposés par les réglementations européennes et internationales (émissions acoustiques, émissions polluantes, sécurité passive et active, ....).

C'est particulièrement dans les domaines du transport que la simulation haute performance est massivement utilisée pour développer de nouveaux véhicules.

Dans l'**industrie automobile**, la simulation a rendu possible le développement d'un nouveau véhicule en moins de 24 mois. En outre, ce véhicule est technologiquement infiniment plus complexe que le véhicule d'hier. A titre d'exemple, la puissance de calcul embarquée dans une voiture haut de gamme est l'équivalent de la puissance de calcul embarquée sur le premier avion Airbus !

C'est aussi grâce à la simulation que l'industrie automobile arrive à développer des véhicules conformes aux normes imposées par l'administration européenne en matière de sécurité, d'émissions polluantes et acoustiques.

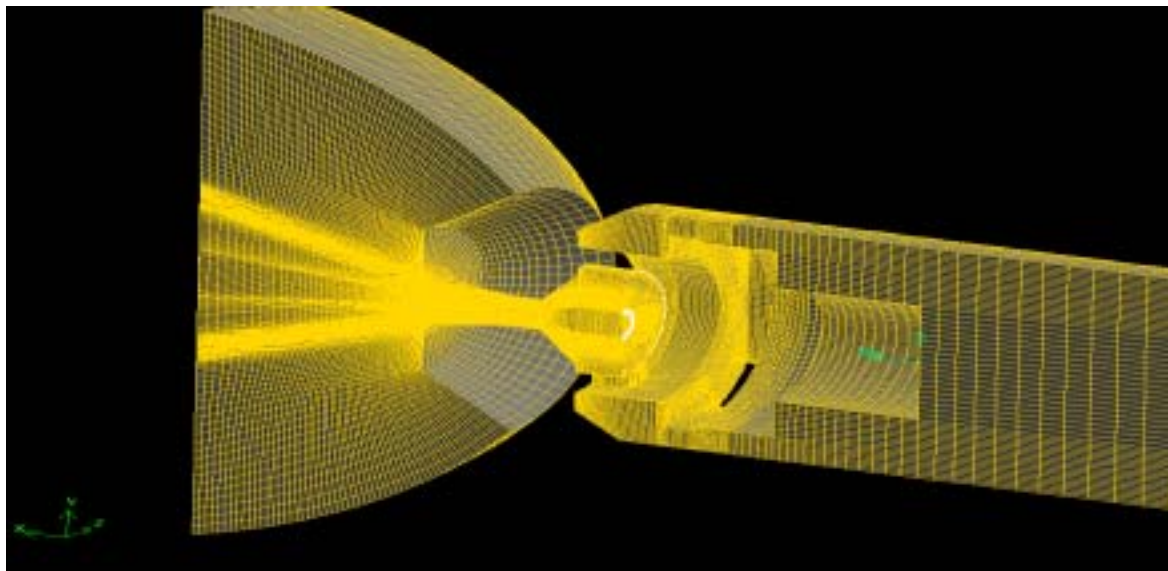
Dans le **secteur aéronautique**, les avions sont eux aussi développés de façon numérique avec une réduction drastique des essais et notamment des essais en soufflerie. L'Airbus A380 et le Falcon F7X sont des avions quasiment conçus intégralement via la simulation avant d'effectuer leur premier vol.

Si le secteur du transport est le secteur N°1 consommateur de simulation numérique haute performance, d'autres secteurs comme le secteur pétrolier par exemple sont devenus friands de calcul haute performance, celui-ci représentant un avantage stratégique pour simuler les réservoirs.

La simulation s'introduit partout, dès qu'il s'agit de développer des produits pointus, innovants.



Ainsi, les figures qui suivent illustrent des simulation faites au niveau d'un bouchon de champagne innovant pour une firme de luxe, ainsi que la simulation des sprays, simulation largement utilisée par les compagnies cosmétiques .



Source: CITE'M 2003, Pau, Supercomputing Industrial Applications in the 21 st century, Farhat & Duysens



## Une compétitivité à conquérir

### *L'Europe et la France distancées*

On a montré précédemment l'effort considérable mené par les Etats-Unis, mais aussi le Japon et la Chine pour développer le calcul scientifique et ses applications informatiques. L'Europe est très largement distancée de ce point de vue et la place de la France tend à se dégrader au sein de l'Europe. Or les perspectives de croissance dans ce domaine sont importantes : pour ce qui concerne le logiciel, selon une étude de DARATECH (domaine : Virtual prototyping and Simulation), le marché mondial de la vente de logiciels et des services associés devrait atteindre 2,5 milliards de dollars en 2006. Son rythme de croissance annuelle sur 6 ans est de l'ordre de 15% en moyenne. Pour ne prendre qu'un exemple : la part du logiciel dans le coût de production d'une automobile devrait s'élever à 15% en 2010 contre 4% en 2000.

Au-delà des perspectives de marchés il s'agit pour les entreprises de posséder les meilleurs outils et les compétences associées, pour être compétitives dans des marchés mondialisés et aussi pour assurer le succès des grands projets (développement de l'A380 par exemple). Le chiffre d'affaire généré grâce à ces grands projets est considérable, et le nombre d'emplois est également important.

Or dans le domaine des grands projets la France et l'Europe subissent là encore la concurrence américaine et asiatique, zones économiques où le calcul scientifique est considéré comme un élément crucial du développement industriel et de recherche.

### **Les dépenses en logiciels en 2002**

En millions	Dépenses totales en logiciels	Dépenses R&D de l'industrie des logiciels	En % des dépenses totales en logiciels
USA (\$)	189 000	20 500	10,8%
Europe de l'ouest (€)	155 700	4 200	2,7%
Allemagne (€)	39 400	1 800	4,6%
France (€)	26 800	850	3,2%
UK (€)	35 800	650	1,8%

Source : Livre Blanc, Réseau National en Technologies logicielles, Pierre Audoin Consultants



La capacité de disposer de compétences et de moyens puissants et prédictifs de simulation est un facteur clé de succès pour garantir la fiabilité des systèmes complexes, sachant que les difficultés connues sur certains projets pourraient être évitées par des efforts et des moyens supplémentaires de conception, à la fois en amont des projets, et en aval par une meilleure prédiction des phénomènes.

### *Une réponse de la France : le pôle de compétitivité System@tic et le projet IOLS*

*Voir annexe 2 page 26*

Une première réponse forte de la France est la mise en place du pôle de compétitivité System@tic (labellisé en juillet 2005) et au sein de ce pôle le développement du projet IOLS (Infrastructure et Outils Logiciels pour la Simulation).

Le thème clé de ce projet cible les moyens logiciels de simulation nécessaires pour analyser, concevoir et optimiser des produits et systèmes innovants de plus en plus complexes.

Ce projet est indispensable pour accroître la compétitivité économique des entreprises françaises, en fédérant les compétences, et en assurant un leadership technologique. Ces gains de compétitivité visent à maintenir et développer les parts de marché tout en évitant les délocalisations, mais aussi à permettre de respecter les directives de développement durable.

De plus le projet s'inscrit dans une perspective stratégique pour la France, comme le souligne un communiqué du Ministère de la Défense du 26 janvier 2005 selon lequel « *recourir à la simulation est indispensable pour maîtriser la complexité croissante des systèmes* ».

Les besoins sont la diminution des temps de conception, la réduction des coûts de développement et des coûts récurrents, l'amélioration de la qualité, de la durabilité et du recyclage des produits, l'amélioration de la fiabilité, la maîtrise des marges et des risques, la capacité à faire émerger des nouvelles technologies clé permettant de maintenir et développer les parts de marché.

Ces besoins sont également liés à la formation des jeunes générations et au développement des compétences visant à pérenniser les savoir-faire et capitaliser sur les connaissances.

Le projet s'articule autour de deux axes clé complémentaires, déclinés en sous-projets :

- Le développement et l'optimisation d'une plate-forme d'intégration et d'exploitation de grands calculs multi-physiques, multi-échelles .
- Les outils disciplinaires de simulation multi-échelle pour le couple matériaux/produits et les démonstrateurs pour la conception globale.

Ainsi, le but du projet est de savoir développer et maîtriser les technologies logicielles indispensables pour la conception globale, multi-échelle et multi-physique, afin de disposer solidement en France du leadership dans la conception des produits et systèmes du futur.

Les avancées les plus significatives dans ces domaines ne peuvent se faire qu'en présence de deux types de synergie : des liens forts entre industrie et recherche d'une part, afin



d'orienter les développements, et liens entre chercheurs de différentes communautés, mécanique, informatique, matériaux, physique ou chimie, afin de traiter de façon pertinente des problèmes qui sont de plus en plus complexes.

C'est dans cet esprit que se présente le projet IOLS, qui apporte une réponse forte aux besoins stratégiques suivants :

- L'extension des possibilités de modélisation et de simulation des industriels et grands centres de recherche les plus avancés, qui sont garants du leadership industriel français à travers la maîtrise de la conception de systèmes toujours plus complexes, avec des contraintes d'environnement et de sécurité toujours plus fortes,
- La nécessité de disposer d'outils et de modèles, le plus en amont possible et à un coût optimisé selon l'avancement et la validation des projets, ceci de façon à faire de la modélisation et de la simulation numériques un véritable outil de décision pour engager l'avenir des entreprises avec les meilleures chances de succès,
- une « démocratisation du calcul non linéaire », qui consiste à mettre à disposition des entreprises et en particulier des PME, des méthodes de calcul avancées pour une conception plus performante et plus sûre avec des matériaux connus,
- la poursuite des recherches nécessitant la mise en place de gros moyens de calcul et d'applications complexes dont l'utilisation requiert une expertise particulière dans le domaine numérique d'une part, dans le domaine des matériaux et des microstructures d'autre part, afin de répondre à des interrogations portant sur des matériaux du futur, ou des situations pour lesquelles l'expérimentation n'est pas disponible.

Le domaine de la modélisation multi-physique et multi-échelle est une approche récente, très vaste et qui englobe la complexité liée à la nécessité désormais de prendre en compte tous les phénomènes agissant sur, ou présent dans, un système dont on cherche à prédire le comportement sur une durée de vie.

Chacun ne voit pas forcément le même phénomène physique derrière le mot « multi-échelle ». La signification est claire pour le domaine des matériaux. Nous sommes au moment où on peut réellement mener une démarche de prévision des propriétés macroscopiques en partant de la description géométrique et physique de la microstructure.

Derrière le concept de « multi-physique », il y a entre autre le problème des changements de phase, ou encore de la corrosion, de l'oxydation, des vieillissements. Ces problèmes nécessitent la mise en place de calculs couplés de thermique, diffusion, mécanique. Les changements de phase en particulier peuvent se représenter à partir de techniques de « champs de phase » qu'il importe d'implanter en éléments finis pour les rendre utilisables sur des microstructures réalistes.

S'agissant des matériaux qui sont une application du projet IOLS, il est justifié de chercher à atteindre en parallèle les objectifs ci-dessus, car ils nécessitent pour une part la maîtrise d'outils de simulation communs, développés autour de logiciels de calcul de structure et de



logiciels décrivant finement les microstructures des matériaux. Ainsi, dans le domaine des métaux, on parle aujourd'hui de "métallurgie assistée par ordinateur" qui a pour objectif de définir de nouvelles nuances d'alliages associées à de nouvelles gammes de transformation et de mise en œuvre pour répondre aux cahiers des charges de plus en plus exigeants des utilisateurs. Le développement de ces techniques passe à la fois par une meilleure description des relations entre structures et propriétés aux différentes échelles, des mécanismes élémentaires et de la microstructure à la pièce industrielle, et par la compréhension des relations entre ces différentes échelles. Les actions envisagées apporteront une meilleure connaissance de la matière et des procédés de fabrication

L'ambition du projet est de surmonter les « verrous technologiques » tels que :

- la limitation des outils actuels pour permettre d'intégrer dans une même chaîne les modélisations multi-échelle et multi-physique,
- les difficultés d'intégrer dans un même environnement associatif l'ensemble des outils CAO-calcul, nécessaires à l'avant projet, à la conception et au développement,
- la problématique de manipulation et d'exploitation de très grands volumes de données, où l'extraction de connaissances et la visualisation sont des facteurs de progrès
- les contraintes multiples et coûts élevés d'une approche globale pour la conception matériau/produit,
- l'insuffisance de l'adaptabilité des logiciels de calcul actuels pour exploiter les grandes machines de calcul parallèle.

## Un exemple d'utilisation intensive du calcul haute performance : la mise au point par CS d'un service de Soufflerie Numérique

### Les modèles

La simulation numérique d'écoulements externes autour de corps (véhicules automobiles, avions, navette spatiale, ...) ou d'écoulements internes (dans des moteurs, des conduits, ...) nécessite d'avoir recours à des méthodes de résolution gourmandes en puissance informatique et à des maillages de fluide très finement discrétisés (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions de mailles).

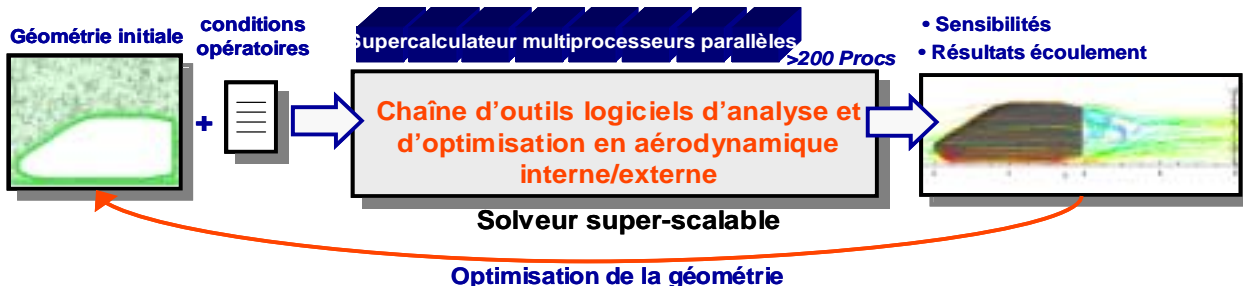
Cela étant dit, si l'on fait l'hypothèse que l'on dispose de la puissance informatique suffisante et de maillages suffisamment finement discrétisés, on a aujourd'hui des modèles qui permettent de reproduire assez fidèlement les écoulements observés et analysés dans des souffleries expérimentales (tunnel instrumenté dans lequel de l'air est pulsé sur un corps via des ventilateurs puissants).

Ainsi CS, en partenariat avec le Professeur Farhat de l'Université de Stanford, permet de réaliser sur des supercalculateurs parallèles des plans d'expériences numériques à grande échelle en des temps et à des coûts bien inférieurs à ceux d'une soufflerie expérimentale conventionnelle.

### Caractéristiques technologiques à la pointe

CS a mis en œuvre les opérations suivantes, à la pointe de l'état de l'art :

- Portage et optimisation sur plate-forme parallèle de divers logiciels de mécanique des fluides, dont certains sont au sommet de l'état de l'art en terme de modèles, de méthodes de résolution et en terme de performances
- Intégration de ces outils dans une chaîne globale d'analyse permettant de réaliser de façon automatisée
  - o Des analyses de sensibilité des écoulements à des paramètres de forme (paramètres géométriques)
  - o Des optimisations des géométries et des profils étudiés



Source : Duysens & Marcos « Concept de Soufflerie Numérique Haute Performance » (by courtesy of CSSI)



## Avantages de la soufflerie numérique haute performance

On peut essentiellement citer trois avantages cruciaux de la soufflerie numérique

1. Possibilité d'étudier en des temps records l'impact de nombreux paramètres géométriques, comme par exemple la sensibilité du  $C_x$  (coefficient d'aérodynamisme) d'un véhicule automobile aux paramètres géométriques de son hayon arrière ;
2. Une même installation (supercalculateur et chaîne logicielle) peut être utilisée pour plusieurs applications (clients) en parallèle, en partitionnant l'utilisation de la machine, si celle-ci est suffisamment dimensionnée ;
3. Possibilité de pouvoir travailler à différents régimes (subsonique, trans-sonique, supersonique, ... ; régimes stationnaires, transitoires, compressibles, incompressibles, ...). Il suffit d'avoir pour cela les logiciels permettant de simuler les écoulements dans ces différentes conditions. Au niveau expérimental, les installations seront très différentes en fonction de la vitesse des écoulements.

## Accès pour un client à une soufflerie numérique

L'accès pour un client peut être réalisé en mode ASP (le client se connecte depuis chez lui et loue la puissance informatique et la chaîne logicielle installée, de la même manière qu'il loue des heures d'utilisation pour une soufflerie expérimentale) avec l'ensemble du matériel d'analyse (hardware et software), ou en mode « full service », dans lequel le client commande une grappe de simulations, celles-ci étant valorisées en Unités d'œuvre.

## Les clients

Les clients d'une soufflerie numérique haute performance sont :

- les gros consommateurs d'essais en souffleries expérimentales et de calculs aérodynamiques : constructeurs automobiles, aéronautiques, écuries de sport automobile (F1, WRC)
- les équipementiers automobiles et aéronautiques qui ne disposent pas toujours en interne de la puissance informatique et des outils logiciels ad hoc pour réaliser leurs plans de calculs.



## CONCLUSION

---

La simulation numérique, grâce au calcul haute performance, est un fondement aujourd'hui essentiel de la compétitivité des états et des entreprises, leur permettant de faire face à des enjeux techniques, économiques, stratégiques, sociaux... majeurs. De la simulation numérique haute performance dépendent des grappes d'innovation affectant la productivité des processus de conception et de production, réduisant les coûts, améliorant la fiabilité des processus et des produits, élargissant le champ des possibilités technologiques en matière de procédés, de produits et de services.

CS, leader en France et au niveau européen sur ce marché est en cela au cœur d'un processus permanent d'innovation, s'adaptant d'un côté à une demande exigeante et évolutive, celle de l'Etat, des grandes entreprises et de plus en plus de PME, de l'autre aux innovations permanentes dans le domaine des équipements informatiques (hardware) et des logiciels (software) et aux avancées de la recherche dans le domaine de la physique et des mathématiques.

On voit ici que la clé du succès réside dans les synergies que génèrent les liens étroits entre la recherche fondamentale, la recherche appliquée et la recherche-développement au sein des entreprises. Le renforcement des liens entre la recherche et l'industrie d'une part, entre industriels d'autre part et entre communautés de chercheurs (physiciens, mathématiciens, informaticiens) enfin, est à ce titre une condition du succès.

On voit aussi le rôle moteur que peuvent jouer les pouvoirs publics, au travers de la commande publique, mais aussi au travers d'une politique ambitieuse de soutien à l'effort de recherche et d'innovation.

Dans cette perspective le pôle de compétitivité SYSTEM@TIC et en son sein le projet IOLS (Infrastructure et Outils Logiciels pour la Simulation) porté par CS ne peuvent que contribuer à améliorer la position de la France et de l'Europe au regard de leurs concurrents nord-américain et asiatiques.

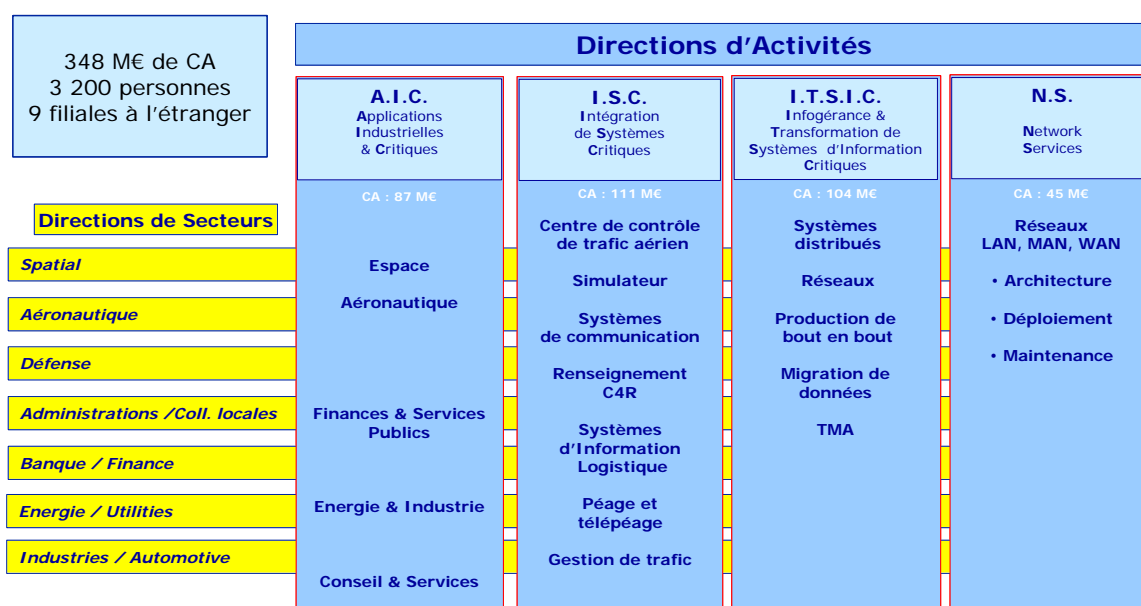
Mais les faiblesses institutionnelles de l'Europe, l'échelon pertinent devant un tel enjeu, en particulier l'absence d'une défense européenne unique, constituent sans conteste un frein à cette ambition.



# Annexe 1 CS en chiffres

Source : rapport d'activité 2004

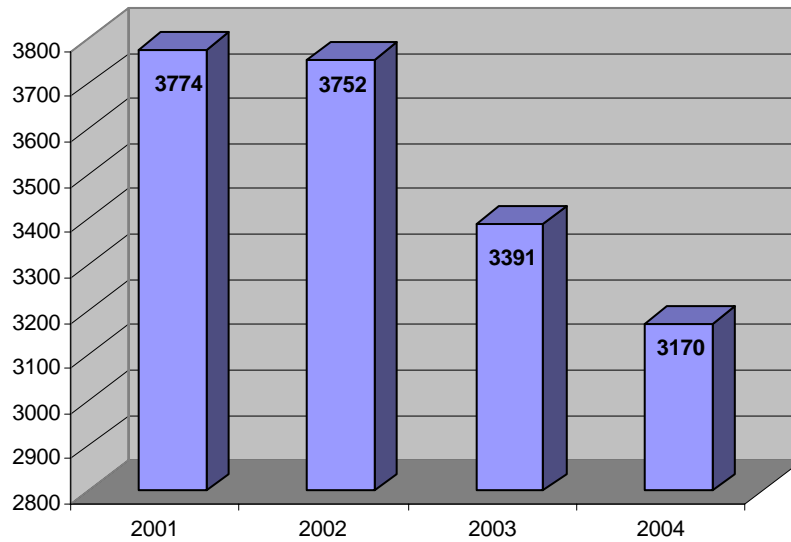
## Organisation du Groupe CS



Le groupe CS est présent sur trois continents au travers de filiales : en Europe (Allemagne, Croatie, Roumanie), en Amérique du Nord (Canada), en Amérique du Sud (Chili).



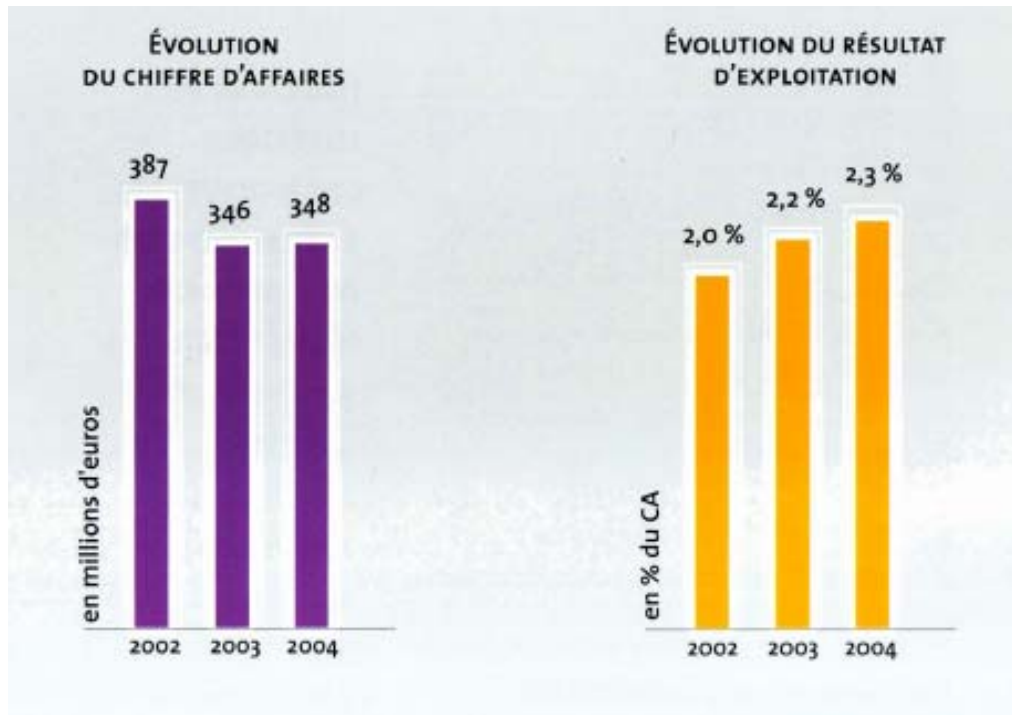
## Les effectifs du groupe



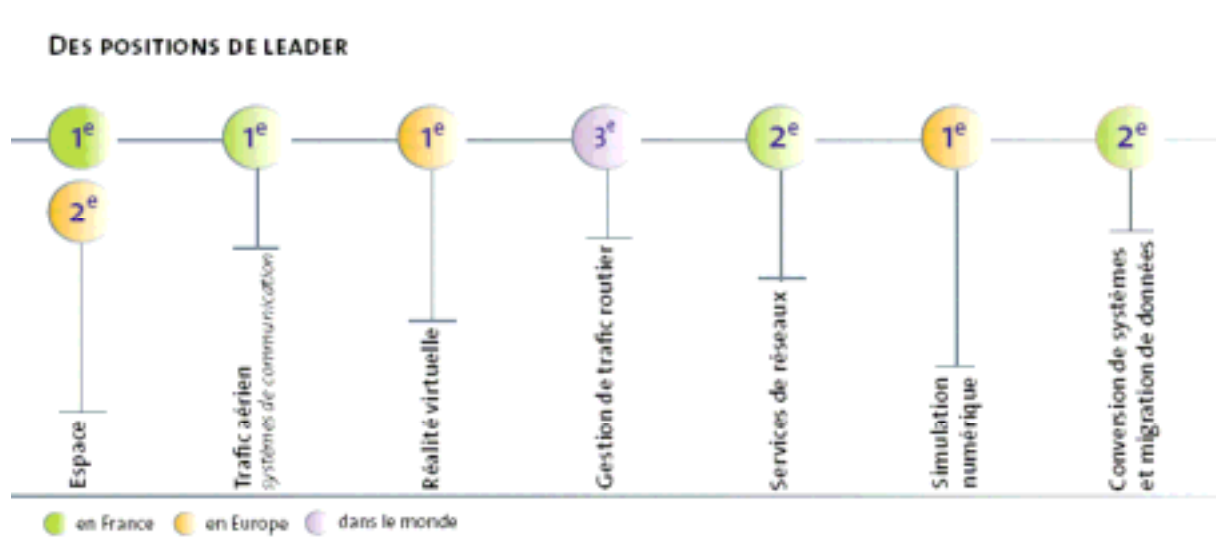
## Répartition des effectifs (en %)

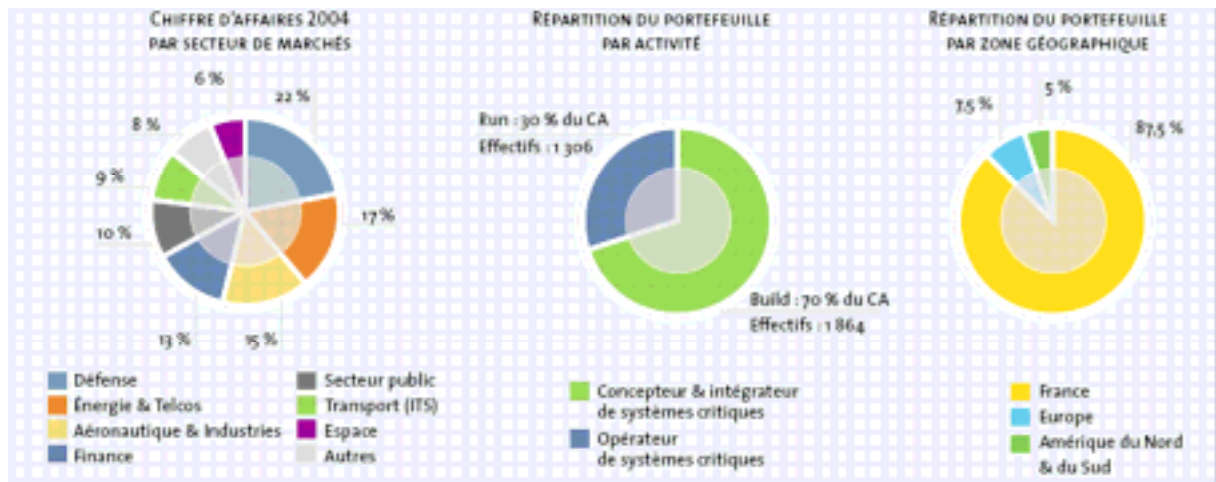
administration	13	cadres	73
production	87	non cadres	27
total	100	total	100

## Données financières



## Marchés





\* Les activités «Build» regroupent les activités de conception et d'intégration de systèmes critiques, soit 70 % du chiffre d'affaires du groupe. Les activités «Run» regroupent les activités d'opérateur, soit 30 % du CA du groupe.

**Nombre de clients** : environ 2500 mais 90% du CA est réalisé par 500 clients

**Principaux clients**

- Ministère de la Défense
- CEA
- EADS
- CNES



## Annexe 2 Le pôle de compétitivité SYSTEM@TIC

*d'après le dossier de candidature « SYSTEM@TIC PARIS-REGION Concevoir et maîtriser les systèmes complexes »*

Le pôle de compétitivité SYSTEM@TIC est un des 5 pôles à visibilité mondiale parmi les 67 pôles retenus par les pouvoirs publics en juillet 2005.

Ce pôle de la région Ile-de-France est porté par des entreprises (Thalès, Alcatel, Bull, Dassault Aviation, EADS, France Télécom, Motorola, Renault, Sagem, CS...), des établissements de recherche et d'enseignement supérieurs (CEA, INRIA, CNRS, DIGITEO, Ecole polytechnique, Ecole centrale, Supelec...), des organismes à vocation de développement économique (chambres de commerce et d'industrie d'Ile-de-France...) ainsi que par des collectivités locales.

Ce pôle, dont le logiciel constitue la technologie la plus fédératrice, a pour point de départ le constat que l'organisation et le fonctionnement de notre société reposent sur un ensemble de « systèmes complexes » de pilotage, de supervision, de régulation et de contrôle.

**Il présente trois axes stratégiques :**

- maîtriser les technologies-clefs nécessaires à la conception et au développement des systèmes complexes
- concentrer les énergies autour 4 thématiques de marché à très forts enjeux économique (gros potentiel de croissance), stratégique (souveraineté nationale), sociétal (emploi, environnement...): 3 secteurs que sont les télécommunications, automobile/ transports, sécurité/défense et le marché transverse des outils numériques pour la conception et le développement de systèmes.



« Les entreprises, acteurs de la recherche et de l'innovation »  
Entretiens Louis le Grand – 29 et 30 Août 2005



- fédérer un potentiel de recherche et d'innovation de premier plan : ouverture vers de nouveaux acteurs, publics ou privés, grands groupes et PME-PMI ; vers d'autres marchés d'application et d'autres champs technologiques ; partenariats avec d'autres pôles français et européens pour éviter les redondances en matière de R&D et conjuguer les efforts ; avec des acteurs institutionnels et financiers pour favoriser le développement de PME-PMI et la création de start-up.

## **Les quatre thématiques du pôle**

### **1-Outils numériques pour la conception et le développement**

L'objectif est d'améliorer la productivité industrielle par l'élaboration d'outils numériques qui permettent de concevoir, développer, fabriquer, renouveler des objets ou produits physiques ou logiciels et ceci mieux, plus vite et à moindre coût qu'aujourd'hui.

La conception et l'usage de ces outils constituent un élément essentiel de la politique qu'un pays peut opposer à des délocalisations vers des régions à main d'œuvre à coût très faible.

### **2-Automobile/transports**

L'objectif est d'adapter les outils aux évolutions du secteur des transports. En particulier le secteur automobile connaît des mutations fondamentales : modification du rôle du constructeur et renforcement du poids des équipementiers, accroissement du poids de l'électrique et de l'électronique dans l'automobile (la part des composants électronique et électrique dans une automobile devrait croître de 75% d'ici 2015, représentant 35% de sa valeur) .

Plus largement deux segments divisent cette thématique :

- l'industrie automobile proprement dite, à savoir constructeurs et équipementiers
- infrastructures et équipements de transport, systèmes et dispositifs de supervision et gestion de trafic, dans le domaine du transport terrestre, aérien et maritime.

### **3-Sécurité/Défense**

Les enjeux de sécurité constituent une préoccupation majeure dans le contexte actuel. Outre le terrorisme, d'autres risques se développent en raison de la concentration urbaine en particulier et des migrations croissantes, qui mettent en question la sécurité des personnes : sécurité des passagers (sur les routes, aéroports...) ; risques sanitaires (SIDA, SRAS, pollutions...) ; sécurité des transactions (physiques, monétaires, informatiques ...) ; risques climatiques et géologiques (sécheresses, incendies, inondations, séismes...).

D'où trois axes à développer :

- maîtrise des enjeux technologiques, juridiques et sociétaux attachés au développement des e-activités.
- surveillance et protection des infrastructures critiques ; outils de gestion de crise.
- développement de calculateurs embarqués à haute densité de calcul

### **4-Télécommunications**

Les télécommunications et l'informatique sont omniprésents dans la vie professionnelle comme dans la vie privée des individus, en situation fixe comme en situation mobile. Les



moyens d'accès se multiplient, les besoins en débit sont croissants, l'Internet devient omniprésent.

L'enjeu de ce secteur est de répondre à l'exigence croissante des clients en matière d'accès, de coût, de qualité .