



HAL
open science

Des leviers d'action pour mieux intégrer la simulation au processus de conception

Eric Blanco, Franck Pourroy

► To cite this version:

Eric Blanco, Franck Pourroy. Des leviers d'action pour mieux intégrer la simulation au processus de conception. 17e Congrès Français de Mécanique, Aug 2005, Troyes, France. hal-04222152

HAL Id: hal-04222152

<https://hal.science/hal-04222152>

Submitted on 29 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Des leviers d'action pour mieux intégrer la simulation au processus de conception

Eric Blanco¹, Franck Pourroy²

1 - Laboratoire GILCO, 46 av. Félix Viallet, 38031 Grenoble cedex – France.

2 - Laboratoire 3S, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9 – France.

Résumé :

Cette communication s'intéresse à l'intégration des activités de simulation dans les processus de conception industriels. Au-delà de l'intégration par l'évolution des outils métiers et de leur inter-opérabilité, se pose la question de l'organisation et de la planification des échanges d'informations entre spécialistes de simulation et bureau d'études.

Abstract :

This paper deals with the integration of numerical simulation activities in the design process. Beyond the integration by the way of design software interoperability, the issue of organizing and planning the exchanges of information between simulation specialists and designers is discussed.

Mots clefs :

Intégration ; Simulation ; Conception ; Coordination ; échanges de données.

1 Introduction

La simulation numérique de comportement fait aujourd'hui partie intégrante des processus de développement de produits. La simulation, de par son principe même d'analyse de prototypes virtuels du produit ou de son environnement, participe en effet très largement à l'effort récurrent de réduction des coûts et délais de développement, tout en garantissant la satisfaction des exigences diverses qui se manifestent. Réservée hier à la seule validation du comportement du produit, la simulation couvre désormais la qualification de l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit. La généralisation de l'intervention de la simulation dans le processus de développement, et en quelque sorte sa démocratisation, ont modifié les problèmes liés à l'intégration. La robustesse de modèles et l'accessibilité des outils ont transformé le recours à la simulation dans les processus de développement. Hier, appui ponctuel et artisanal d'experts sur des systèmes complexes, l'activité de simulation est aujourd'hui beaucoup plus industrielle ce qui sous-tend une rationalisation de son usage dans le processus. Elle devient aussi plus diversifiée entre une simulation maîtrisée qui s'est diffusée dans les bureaux d'études eux mêmes, et des simulations que nous appellerons « expertes », qui nécessitent encore et de plus en plus l'intervention d'experts simulation.

Cet article propose de situer la problématique de l'intégration du calcul dans la conception par rapport aux différentes approches qui peuvent être développées dans les recherches (§2). L'ambition est de présenter quatre leviers d'action pour améliorer cette intégration dans les équipes de développement (§3). Le travail présenté est issu de l'analyse de pratiques industrielles dans le domaine de l'ingénierie mécanique et les leviers d'action proposés concernent des flux d'information de natures différentes. Notre ambition est de présenter des pistes d'amélioration opérationnelles dans le contexte des organisations et des systèmes d'information existants actuellement dans les entreprises. Ces propositions sont mises en perspectives avec les développements actuels dans le domaine.

2 Intégration simulation – conception

2.1 Des outils plus intégrés

Dans la littérature on peut identifier deux approches de l'intégration du calcul dans la conception [1]. Une première approche vise à faciliter l'utilisation par les concepteurs eux-mêmes des outils de simulation. Les systèmes d'aide au maillage de plus en plus élaborés sont proposés pour les outils EF permettant d'idéaliser les géométries en tenant compte de critères liés aux objectifs de l'analyse ([2] par exemple). Ces systèmes d'aide visent à automatiser ou à faciliter par des procédures le passage du modèle géométrique aux modèles d'analyse [3], [4]. Les projets européens FE-net et Clockwork¹ s'inscrivent dans cette logique. Une seconde approche propose le développement d'environnements spécifiques de conception pluridisciplinaires capables de gérer aussi bien les données de conception que d'analyse [5]. Ces systèmes permettent de s'appuyer fortement sur les fonctionnalités des PDM [6] et proposent l'utilisation de standards d'échange entre les outils tout au long du processus de conception.

Le diagnostic que nous avons fait dans nos études de terrain montre que les difficultés se situent à différents niveaux dans le processus [7]. Si les progrès faits sur la liaison CAO-calcul et sur la gestion des données techniques apportent indéniablement un certain nombre de réponses sur la fluidité des flux d'information et la mise à disposition des données nécessaires, de gros problèmes d'échanges de données persistent néanmoins et peuvent se montrer très pénalisants (voir par exemple les résultats du projet ENHANCE [8] sur ce point). Cependant, on ne peut pas réduire la question de l'intégration conception – simulation à cette seule dimension instrumentale. En effet, les outils de plus en plus complexes nécessitent des spécialistes rompus à la modélisation et à leur utilisation. Dans les entreprises, on voit se développer ou perdurer les nouveaux métiers spécialisés dans la simulation. Les acteurs de la simulation et de l'ingénierie sont souvent distribués dans différents services, voire dans différentes entreprises. Cette dimension organisationnelle de l'activité doit être prise en compte et analysée.

2.2 Une dimension organisationnelle

La figure 1 illustre les positions différentes que peuvent avoir les acteurs de la simulation dans l'organisation. Les acteurs de la simulation peuvent être intégrés dans les équipes de conception, ils peuvent être détachés dans des services supports d'expertise, ou même en dehors de l'entreprise. En effet, dans le cas d'une entreprise étendue, le fournisseur qui se voit délégué une part de la conception du système peut lui même sous-traiter une partie des éléments de qualification du composant ou sous-ensemble dont il a la charge. Les flux d'informations entre conception et simulations ne pourront pas être gérés de la même manière dans les différentes configurations. Pour le sous-traitant assurant la simulation, il est alors parfois difficile d'avoir accès à certaines données de contexte nécessaires pour effectuer la simulation. Ces informations peuvent être disponibles chez le client, mais non transmises au fournisseur qui ne les a pas demandées car il ne maîtrise pas les besoins de la simulation. L'accès à ces informations importantes pour le sous-traitant de simulation est parfois difficile, soit parce qu'il ne connaît pas le client final soit parce que cette information n'est pas diffusée pour des questions de confidentialité. Il s'agit alors d'un effet de filtre, qu'une solution en termes de gestion de données techniques et de mise à disposition des données peut résoudre. Mais la non-disponibilité des informations ne peut pas être imputée à cette seule dimension de filtrage de l'information liée aux différents intermédiaires. Dans bien des cas, cette donnée n'existe pas en tant que telle et doit être construite sur la base d'autres données elles-mêmes distribuées dans le système, éventuellement chez d'autres fournisseurs d'autres sous-ensembles. En effet, certaines informations n'ont pas d'existence officielle dans les systèmes de gestion de données techniques où seuls les livrables sont identifiés et répertoriés. Les données critiques ne sont pas toutes disponibles ou manipulées dans les outils métier. Certains schémas, cinématiques filaires par exemple, des valeurs d'efforts et moments d'actionneurs, des éléments d'environnement du composant ou sous-systèmes, utiles pour modéliser et simuler un mécanisme, ne sont ainsi pas toujours présents dans les modèles de conception.

¹FEEnet : <http://fe-net.org/> Clockwork : <http://kmi.open.ac.uk/projects/clockwork>

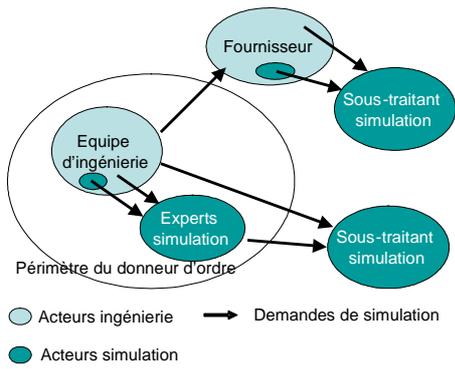


FIG. 1 : Exemples de flux de demandes de simulation possibles dans une organisation complexe de conception ;

Processus de conception	Anticipation		Développement		Indus.	Fabrication	Vente
	Faisabilité / spécifications critiques	Respect de 100% des spécifications critiques	Validation / spécifications critiques et majeures	Répond aux imprévus de qualification	Répond aux imprévus de production	Répond aux imprévus d'après-vente	
1 Calculs thermiques	Pré-dim. de la structure du produit	Optimisation avec des volumes prévisionnels	Validation de la structure et des composants	Imprévus liés à la thermique			
1 Electro-magnétique	Pré-dim. des éléments du produit	Optimisation des éléments du produit	Détail et validation des composants	Imprévus liés à l'électro-magnétique			
1 CFD	Dimensionnement, validation des formes extérieures		Détail et validation des composants	Imprévus liés à la méca. des fluides			
2 Calculs de mécanismes	Pré-dim.	Optimisation globale	Détail + validation	Imprévus liés au mécanisme			
3 Calcul de structures	Pré-dimensionnement avec des volumes prévisionnels		Détail, optimisation, validation	Imprévus liés aux structures			

1 Architecture et design du produit
 2 Premières définitions des squelettes
 3 Premiers habillages des squelettes

FIG 2 : Exemple de planification globale des simulations

Si le point noir récurrent, cité par les acteurs de la simulation dans de nombreuses interviews d'ingénieurs-calcul [7], est bien cette difficulté d'accès aux données nécessaires à la simulation, arrive en second plan le problème de la mauvaise définition du besoin de simulation. Cette formulation est cependant extrêmement importante et conditionne en grande partie la qualité et la pertinence du résultat. Les difficultés résident ici principalement dans un manque de connaissance mutuelle entre les métiers de l'ingénierie et de la simulation. De plus, les contraintes et les besoins des concepteurs ne sont pas les mêmes aux différentes étapes du cycle de vie du produit. Il en est de même pour les capacités de réponse de la simulation (figure 2), qui s'étendent du prédimensionnement en faisabilité, passent par l'optimisation lors du développement de produit, et vont jusqu'à l'expertise de défauts de conception au cours de la vie série. Les attentes des concepteurs doivent prendre en compte la maturité des données de conception pour spécifier leurs besoins de simulation. De leur côté, les spécialistes de la simulation doivent maintenir une certaine proximité avec le produit pour répondre au mieux à ces besoins. Au delà de ce diagnostic sur les difficultés, nous proposons dans le paragraphe suivant quatre leviers d'action opérationnels pour améliorer l'intégration de la simulation dans le contexte actuel des outils et moyens.

3 Les leviers d'action pour une meilleure intégration

3.1 Partager la connaissance « produit »

Les concepteurs et les experts simulation rencontrés lors de nos approches de terrain consacrent un temps important à expliciter et reformuler les problèmes de conception pour répondre le plus efficacement possible aux besoins des concepteurs. Il s'agit souvent de transformer un problème de conception en une demande de simulation exploitable permettant de définir les outils et démarches appropriés. Il est essentiel d'avoir une forte interaction entre le simulateur et l'équipe de conception pour que le problème soit défini, puis résolu, de façon optimale (ce point illustre l'importance des apprentissages croisés et des connaissances d'interfaces). Nos études font ressortir l'importance de la proximité des experts avec les bureaux d'études dans l'intégration de la simulation. Ce n'est d'ailleurs pas tant la proximité géographique avec les concepteurs qui est importante, mais plutôt une proximité avec les produits et l'avancée du projet. D'autre part, la simulation, en s'appliquant à faire ressortir l'influence des paramètres de conception, peut aider les concepteurs à mieux connaître leur produit. Un terrain industriel d'étude nous a par exemple conduit à proposer un outil logiciel support au partage de connaissances sur le comportement du produit conçu par l'entreprise [9]. Il s'agit là d'un produit relativement complexe dont le comportement fait intervenir de

nombreux phénomènes physiques couplés. L'interface présente un tableau qui décompose le produit en sous-systèmes de plus en plus élémentaires, et qui permet aux acteurs d'explicitier leur perception de l'influence de chaque sous-système sur ce comportement. Le bureau d'études, le service calcul, mais aussi le service matériaux, les essais et la qualité sont concernés par l'élaboration et la mise à jour du tableau qui permet, au travers des discussions et argumentations qu'il fait naître, de croiser les savoirs au sein de l'entreprise. Le système informatique support au tableau permet de conserver des traces de l'argumentation, sous la forme de rapports d'essais, de notes de calcul, de retours client, de références bibliographiques, etc.

3.2 Rendre visibles les Capabilités

L'utilisation de la simulation doit aider les concepteurs à maîtriser le nombre d'itérations et à faciliter les modifications de produit en amont du processus de conception. Mais souvent les concepteurs ne savent pas à quel moment utiliser la simulation et ils ne savent pas précisément ce que la simulation peut leur apporter. D'une manière générale, les possibilités (et les limites) de la simulation ne sont pas toujours bien identifiées, qu'elles soient sur-estimées (en termes de précision ou de délai possibles) ou sous-estimées. L'enjeu est donc de donner aux différents acteurs du projet une vue globale des capacités de la simulation, ceci afin qu'ils puissent mieux juger l'opportunité de la faire intervenir. Cette capacité dépend à la fois des possibilités intrinsèques des outils de simulation à disposition, et des compétences que les acteurs simulation ont pu développer relativement à l'utilisation de ces outils. Il s'agit par exemple de communiquer sur le fait que l'on sait simuler le vieillissement d'un carter en thermoplastique, ou que l'on sait simuler un choc latéral sur un véhicule dès le début de la phase de développement produit (figure 2). Ces capacités sont ainsi étroitement liées à des phases du processus de conception car elles dépendent de la disponibilité de certaines données et des contraintes de délai ou de précision requise. La visibilité des capacités est également d'un grand intérêt au sein des grandes entreprises ou dans l'entreprise étendue, car elle permet d'assurer une certaine cohérence des activités au sein des différents services qui réalisent des simulations, en limitant par exemple les doublons et en répartissant efficacement les études. Il faut bien voir enfin que ces capacités sont dynamiques. Elles se multiplient et évoluent dans le temps, en relation avec la puissance accrue des moyens informatiques, des techniques de résolution, et surtout des nouvelles connaissances développées par les acteurs simulation sur leur métier. A noter qu'en déterminant ce dont est capable la simulation, on détermine en même temps les données d'entrées nécessaires à l'activité de simulation et les données de sorties utiles à la conception.

Nous avons proposé et mis en usage sur différents terrains industriels des « fiches de capacités » de la simulation ([1] ou [7] par exemple). Chaque fiche est structurée en six thèmes : des informations métiers (identifiant, auteurs, service concernés, date de mise à jour), des objectifs de simulations (valeur ajoutée, type d'outil et de calculs) les données d'entrées nécessaires à la simulation (type format, source, disponibilité (à quel moment dans le projet), les résultats produits (types, formats), et des informations projets sur le délai de mise en données et de simulation, le coût, la qualité possible du calcul (précision, confiance). L'ensemble de ces capacités permet de rendre visible une partie du savoir-faire de simulation de l'entreprise. La mise en cohérence de ces savoir-faire avec la vision du processus de conception (figure 2) permet d'afficher les possibilités offertes par la simulation en fonction de l'évolution des informations de conception. Ces fiches, rassemblées dans une base de données, ont été rapidement adoptées par les ingénieurs des entreprises partenaires de nos études car elles constituent une réponse simple à un besoin crucial.

3.3 Planifier l'intervention de la simulation.

Il faut cependant comprendre que ces capacités de simulation dépendent du contexte de conception et ne sont pas toutes explicitables *a priori*. Ainsi, une capacité de la simulation thermique à résoudre un problème donné dépendra du type de projet, du type de produit, ou de la façon dont le problème a été posé. Dans le cadre des processus de l'entreprise chaque projet restera unique. Nous avons pu observer dans le suivi de certaines équipes de conception que la réalisation d'un plan de simulation en début de projet facilite l'intégration de la simulation. Lorsque les équipes font appel aux experts en début de projet, elles déterminent les possibles interventions des experts et en fixent les modalités. De cette façon, les projets connaissent à l'avance les travaux qui seront menés sur le produit, ce qui facilite les échanges en cours de conception. Planifier les activités de conception est une opération difficile et ambitieuse car les décisions qui

sont prises en cours de processus affectent la planification prévue initialement. La planification ne doit pas être réduite au seul aspect temporel de positionnement des tâches sur un planning, mais relève bien de la définition de la division du travail entre les différents intervenants. En effet, l'intervention de la simulation peut amener à modifier l'organisation de la conception pour rendre disponibles plus tôt des données nécessaires aux simulations attendues. Cependant, il semble peu réaliste de définir *a priori* une séquence de tâches suffisamment détaillée et les activités ne peuvent être ordonnancées qu'à court terme. La planification engendre nécessairement des compromis et des négociations, il est donc nécessaire de laisser dans l'organisation du travail des espaces (outils, lieu, dates ...) pour ces renégociations. Un outil de planification sert ici à encadrer les interactions entre simulation et conception et à identifier des espaces pour la coopération. Un tel outil doit sans doute être centré sur les informations échangées plus que sur la définition des tâches. Un des points essentiels de la coordination des activités de simulation et de conception est la synchronisation des échanges de données qui sont par nature évolutives. Il s'agit donc de s'accorder sur un plan de simulation qui prend en compte les informations préliminaires [10].

3.4 Prendre en compte les données préliminaires

Au delà des formats de données et leur compatibilité qui sont des points importants, il s'agit d'évaluer la fiabilité et la maturité des données qui sont échangées. Les informations de conception sont instables, et avec un degré de précision qui évolue. En effet, les activités sont menées en parallèle, ce qui impose pour chaque acteur de travailler sur des informations préliminaires, sujettes à modifications. L'ensemble des données nécessaires à la conception ou à la simulation n'est pas toujours disponible en temps voulu. Ainsi nous avons pu observer que les acteurs de la simulation ont souvent des difficultés pour obtenir certaines données précises (par exemple des données matériaux, ou certains détails de définition géométrique) pourtant nécessaires aux simulations. Ils sont alors confrontés au dilemme suivant : attendre ou continuer leur travail avec des hypothèses sur ces données. La stratégie dépend, comme l'a montré Terwiesch [10], de l'estimation de l'impact de l'évolution de la donnée manquante sur la simulation. Ils peuvent décider de mener différentes hypothèses en parallèle si l'impact est important ou de laisser cette valeur hypothèse si le calcul peut être relancé à moindre frais une fois la valeur exacte connue. Le niveau de maturité des informations d'entrée de la conception, ou du calcul, a généralement un impact fort sur le degré de fiabilité des données produites par les activités. De plus, la prise en compte de l'évolution des données n'affecte pas uniquement les résultats de calcul mais aussi le choix des méthodes de calcul. En pré-dimensionnement, certaines méthodes dites conservatives (c'est à dire pessimistes) sont privilégiées de manière à ne pas risquer de remettre en cause les volumes d'encombrement des composants. Ainsi, une évolution défavorable des cas de charge ne remet pas en cause l'allocation d'espace et restreint l'impact des évolutions au seul composant considéré. On voit là que les acteurs doivent échanger au delà de la donnée en elle-même. Il convient aussi de donner des indications sur ses évolutions possibles, et éventuellement sur les dates de mise à jour prévues. L'affichage des dynamiques d'évolution peut permettre aux acteurs de réorganiser leurs activités pour attendre la révision suivante par exemple, ou de structurer le travail de manière à dissocier deux activités [11]. Cette démarche, que nous nommons ici qualification² des données échangées entre simulation et conception, doit permettre de diminuer les itérations. Elle peut intervenir à deux moments : lors de la planification par l'identification des données critiques pour l'activité de simulation et des maturités attendues [12], ou lors de l'échange lui-même, [13] par la caractérisation de la maturité des données produites ou attendues (fiabilité précision, évolution etc.).

4 Conclusions

L'intégration passe certes par la mise en place de dispositifs de cadrage de l'activité qui permettent la coordination par le partage de conventions communes. Il est aussi nécessaire de favoriser les conditions d'émergence de dispositifs de coopération ad-hoc pour répondre aux situations non prédictibles liées au caractère opportuniste de l'activité de conception. L'ensemble de ces éléments (objets intermédiaires,

² Voir résultats du projet Région Rhône Alpes ISOCELE : <http://gilco.inpg.fr/intranet/Sisco/9-projets/Isocele/public.html>

acteurs, outils, temps, lieux, règles) constitue des interfaces [14] qu'il faut définir pour améliorer l'intégration de la simulation dans la conception. Les environnements de simulation devront pouvoir, selon nous, permettre d'instrumenter ces différents éléments d'interfaces. Ils participent à la coordination et au cadrage de l'activité mais ils devront aussi permettre la mise en place d'espaces de coopération. Les quatre leviers d'actions proposés constituent des pistes pour la mise en place de dispositifs de coopération. La coopération suppose le partage de connaissances communes entre les acteurs. La mise en place d'outils et d'organisations favorisant les apprentissages croisés sur les capacités de la simulation d'une part, et les connaissances produit d'autre part, nous paraît essentielle. La coopération suppose des représentations du produit capables de supporter l'expression et la confrontation des différents points de vue. Sur ce point, les outils favorisant l'interopérabilité des systèmes constituent des avancées importantes. Mais les informations nécessaires à l'interface ne sont pas réduites aux seules données métier. De plus, ces objets supports de coopération sont par nature évolutifs. Les systèmes d'information de conception devront prendre en compte cette dynamique des informations préliminaires de conception pour améliorer l'efficacité de ces dispositifs de coopération. Enfin, au delà de la simulation, la place des essais [15] doit être définie, pour pouvoir mettre en place une véritable démarche de qualification produit tout au long de la conception.

Références

- [1] Y. Baizet, la gestion des connaissances en conception : application à la simulation numérique chez Renault- DIEC, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble 2004.
- [2] L. Fine, L. Rémondini, J.C. Leon, automated generation of FEA models through idealization operators, *International journal of Numerical Methods in Engineering*, v49, pp 43-108, 2000.
- [3] R.M. O'Bara, M.W. Beal, M.S. Shephard, Attribute Management System for Engineering Analysis, *Engineering with Computers*, v18, pp 339-351, 2002.
- [4] M.S. Shephard, Meshing environment for geometry-based analysis, *International journal of Numerical Methods in Engineering* v47, Issue 1-3, pp 169-190, 2000.
- [5] K.H. Chang, K.K. Choi, J. Wang, C.S. Tsai, A multilevel product model for simulation –based Design of mechanical systems *Concurrent Engineering : Reseach and Applications* v6 n2 pp 131-143 1998.
- [6] O. Klaas, M.S. Shephard, Embedding reliable Numerical Analysis Capabilities into Enterprise-Wide Information System, *Engineering with Computers*, v17 pp151-161, 2001.
- [7] V. Songis, Instrumentation de la coordination dans les activités de conception : le cas de l'intégration de la simulation chez Schneider Electric. Mémoire de DEA de génie Industriel de l'INP Grenoble, 2003.
- [8] P. Bartholomew, C. Paleczny, M. Harms, C. Sevin, G. Alléon, The ENHANCE way, Recommendations for common working practices in scientific calculation, <http://www.enhanceproject.com/>.
- [9] I. Stenzel, Etude du comportement acoustique, dynamique et de la durée de vie des chaînes de distribution à pas réduit dans des moteurs thermiques modernes, DRT de l'INP, Grenoble, décembre 2004.
- [10] C. Terwiesch, Exchange of preliminary information in concurrent Engineering: Alternative Coordination Strategies, *Organisation Science*, 2002.
- [11] C.M. Eckert, P.J. Clarkson, If only I knew what you were going to do, communication and planning in large Organisation, CIRP design Seminar, Grenoble, May 2003.
- [12] L. Saint-Marc, M. Callot, C. Reyterou, M. Moly, P. Girard, J.C. Deschamps, Toward a data maturity evaluation in collaborative design process *Inter. Design Conference DESIGN 04 Dubrovnik*, May 2004.
- [13] K. Grebici, E Blanco, D. Rieu, Les objets intermédiaires dans les activités d'ingénierie collaborative, Actes du congrès INFORSID 2005 grenoble 24-27 mai 2005
- [14] T. Koike, E. Blanco, B. Penz, Interface issues into Life Cycle Engineering agenda: Evidences from the relationships between design engineering and logistics, CIRP Life Cycle Engineering Seminar, Grenoble, 2005.
- [15] E. Blanco, F. Pourroy, M. Tollenaere, PLM, quid de la simulation numérique et des essais ? *Revue Internationale de CFAO et d'informatique* V18 (4).2003