

# Forge: simulez avant de frapper

MIREL SCHERER<sup>[1]</sup>

*La simulation mécanique est devenue un moyen performant d'aide à la conception des pièces industrielles. Développé sous la houlette du Cetim, le logiciel 3D Forge 2005 apporte, en limitant le recours aux prototypes et aux tests physiques, une réduction des cycles et des coûts de développement des nouveaux produits. À condition de bien exploiter ses richesses fonctionnelles.*

**T**itanesque... Le mot convient parfaitement au projet Simulforge, un programme de recherche mené pendant cinq ans par plusieurs partenaires sous la houlette du Centre technique des industries mécaniques (Cetim). Objet du programme : la mise au point d'un logiciel de simulation numérique tridimensionnelle capable d'améliorer la qualité de pièces forgées.

« Des travaux sont en fait menés depuis une quinzaine d'années pour le développement d'outils de simulation dédiés aux

opérations de forgeage », explique Jean-Claude Crapart, directeur de l'établissement Cetim de Saint-Étienne. Ainsi, quinze entreprises ont investi, entre 1991 et 1994, 10 millions de francs dans une première action qui visait la mise au point d'un logiciel de simulation 2D (Forge 2). Un second programme, de plus de 50 millions de francs, regroupait, de 1995 à 1999, seize entreprises, trois cotraitants et dix laboratoires pour créer un outil de simulation capable de traiter les géométries com-

**mots-clés**

conception, logiciel, mécanique, procédé, processus

plexes. Ces travaux ont été poursuivis de 2000 à 2005 grâce au programme Simulforge, qui a vu la naissance du logiciel Forge 2005 (Forge 3) commercialisé par la société Transvalor.

Directeur du Centre de mise en forme des matériaux (Cemef) de l'École des mines de Paris, Jean-Loup Chenot précise la finalité de ce dernier projet. « Il s'agissait de mettre au point un outil capable d'assurer une description complète du forgeage [traitement thermique] », explique le spécialiste. Une double description en fait : métallurgique (microstructure, phases) et mécanique (contraintes résiduelles). Un travail de longue haleine auquel ont apporté leur pierre d'autres laboratoires comme ceux de l'École de mines d'Albi, de Nancy et de Saint-Étienne ainsi que

## Le projet Simulforge

**OBJECTIFS**

Développer un logiciel de simulation numérique 3D de forgeage

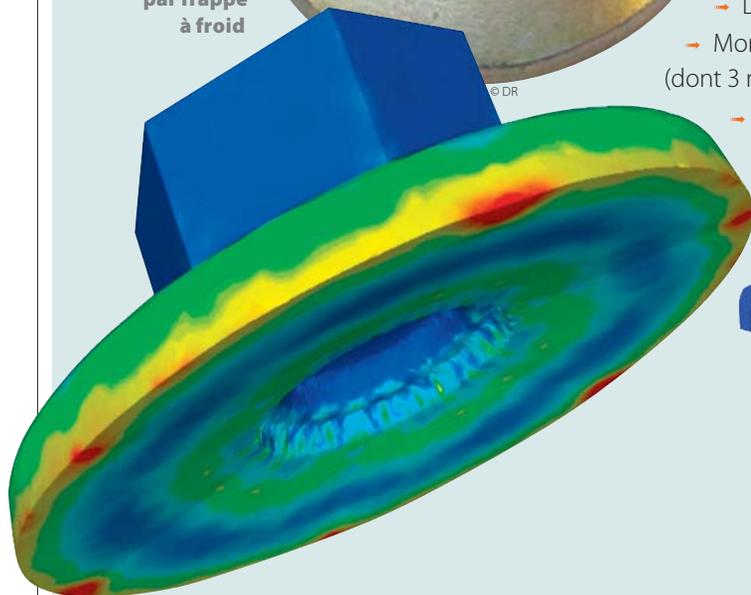
→ Durée du projet: 5 ans

→ Montant: 11 millions d'euros

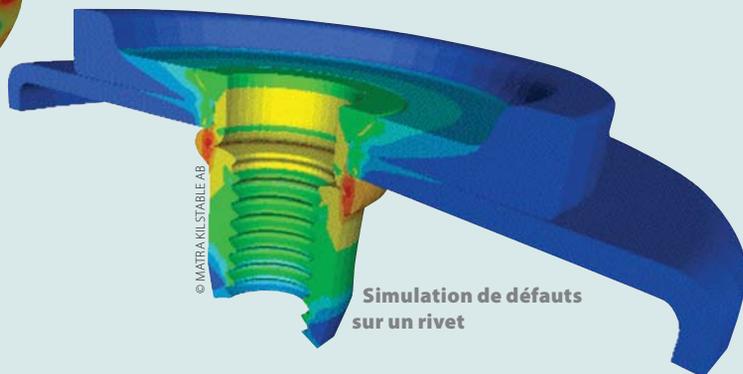
(dont 3 millions d'euros de subvention de l'État)

→ Partenaires: 15 entreprises, le syndicat de la profession (AFF), le Cetim, dix laboratoires de grandes écoles et la société Transvalor qui commercialise le logiciel Forge 2005

Simulation de défauts sur un écrou réalisé par frappe à froid



Simulation de défauts sur un rivet



l'Insa (Lyon), l'Epun (Nantes) ou le Lamih (Valenciennes). Mais aussi des entreprises directement concernées. Des noms comme Aubert & Duval (coordinateur industriel du projet), Estamfor, Manoir Industries, Snecma, Sifcor, SNR, PSA, Lisi Automotive..., garantes du pragmatisme de ce programme.

### Durée de vie prolongée des outillages

Ces différents partenaires se sont retrouvés dans plusieurs groupes de travail qui ont traité des aspects techniques encore mal maîtrisés comme la métallurgie de la déformation. Autre aspect abordé, la modélisation des évolutions métallurgiques qui se produisent lors des traitements thermiques, une approche qui permet d'adapter les conditions de forgeage en fonction des propriétés

mécaniques désirées. Sujet chaud, la durée de vie des outillages est une véritable obsession pour les industriels de la forge, qui cherchent à réduire, par tous les moyens, leurs coûts. L'usure des outillages a été ainsi longuement analysée, et une loi a été intégrée au logiciel. « L'utilisateur peut identifier les zones d'usure de l'outillage, en estimer l'importance de la dégradation et adapter la gamme de forgeage pour diminuer cette usure », affirme Jean-Loup Chenot du Cemef. Le spécialiste insiste aussi sur un autre aspect mal élucidé auparavant : les conditions de contact à l'interface entre le métal et l'outil, dont l'étude s'inscrit dans la même quête d'économies. « Dans la mise en forme à froid ou à chaud, ces conditions d'interface jouent un rôle capital dans l'obtention d'une pièce forgée de bonne qualité mais aussi sur l'endommagement des outillages », précise l'expert. Les travaux ont visé dans ce cas plusieurs objectifs, comme la modélisation du comportement des couches lubrifiantes épaisses ou l'amélioration de la prédiction des échanges thermiques. Ou encore l'application des lois de frottement connues aux applications tridimensionnelles. L'étude des frottements à chaud par le Lamih a ainsi donné lieu à la mise au point d'un banc d'essai prototype grâce auquel les chercheurs ont pu établir une banque de données pour l'aluminium, l'acier et le zirconium.

Souci majeur, la précision des opérations de forgeage a été aussi au centre de ces recherches. « Lors de l'étude d'une gamme de forgeage, le concepteur est confronté à des problèmes d'optimisation des formes d'ébauche et de choix de conditions opératoires indispensables pour obtenir une pièce sans défaut », précise encore le spécialiste du Cemef.

### ► En chiffres

#### L'industrie française de la forge et de l'estampage en 2004

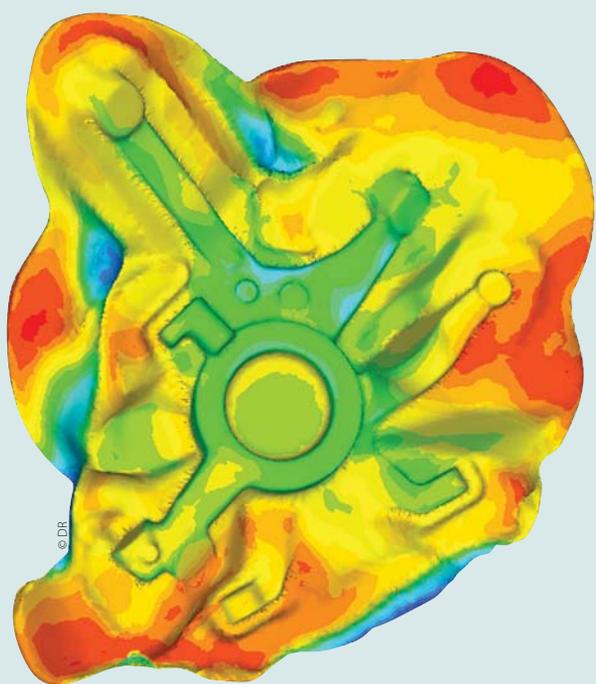
- 77 sites de production
- 10 400 emplois
- 500 000 tonnes de pièces livrées
- 1,5 milliard d'euros de chiffre d'affaires (38 % à l'export)

Les résultats de tests montrent que la méthode de contrôle de la précision (maillage adaptatif, optimisation automatique de la forme d'un outil), mise au point dans le cadre de Simulforge, est efficace pour optimiser la forme d'ébauche assurant un remplissage correct de la gravure de finition. Sans aucun repli, ni manque de matière. Des études qui, selon Jean-Loup Chenot, ouvrent la voie à la mise au point d'un atelier de forgeage virtuel (sujet qui fait d'ailleurs l'objet d'un projet européen).

Toutes ces avancées technologiques ont été bien sûr intégrées dans Forge 2005, en faisant un outil destiné aussi bien aux grandes entreprises qu'aux PME. Le logiciel dispose ainsi d'un estimateur de résultats (pour les opérations d'estampage, d'extrusion et de mise en forme à chaud) qui peut quantifier l'influence de données métier sur la robustesse d'une gamme de forgeage. Comment ? Tout simplement en recalculant cas par cas, et instantanément, les résultats d'une simulation.

### Une panoplie fonctionnelle très riche

Autre module intéressant : Rhéoforge. Un outil capable d'identifier automatiquement les lois de conception et d'endommagement par analyse



Simulation de défauts sur un porte-moyeu

[1] Article extrait de la revue *Industrie et technologies*, n° 873, décembre 2005.

inverse. À citer aussi, la base de données matériaux (MatDB) disponible pour 3 700 euros auprès de SCC qui l'a développée, un outil qui permet l'interpolation des lois de comportement.

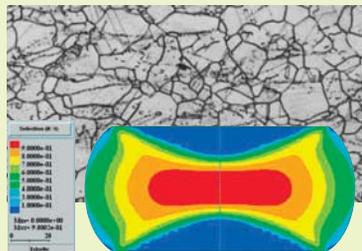
Quels sont finalement les bénéfices pour les utilisateurs de ces développements intégrés à Forge 2005 ? Directeur général de Transvalor, Étienne Wey en cite plusieurs : « Doté de pré et postprocesseurs faciles à utiliser, notre outil a considérablement enrichi sa panoplie fonctionnelle », précise l'expert. Cisailage 2D et 3D, laminage, forgeage, débouchage, ébavurage, trempe..., il peut presque tout faire. Pour le responsable de Transvalor, « les utilisateurs pourront, grâce à ce logiciel, préserver leur volume d'activités voire même l'augmenter ». Ce qui n'est pas une mince affaire par ces temps où la forge est durement attaquée par les pays à bas coûts.

« La simulation assure une meilleure maîtrise de l'écoulement de matière, ce qui permet de réduire les surépaisseurs et donc les coûts de production, poursuit-il. On peut aussi améliorer les délais de mise au point d'une gamme, notamment pour les matériaux à fort contenu métallurgique. » Les participants au programme estiment, sur la base de résultats obtenus dans les programmes de recherche précédents, que le gain moyen sera de 1 à 1,5 % du chiffre d'affaires des pièces traitées par la simulation.

Simulforge met-il donc un point final aux recherches dans le domaine de la simulation du forgeage ? « Loin s'en faut », clament d'une seule voix les partenaires de ce programme. Car il reste toujours du pain sur la planche. Côté technique d'abord, avec par exemple une intégration du calcul sans maillage dans la future version du logiciel pour mieux prévoir la structure finale d'une pièce forgée. Autre défi à relever, la diffusion de cette approche dans les PME. « Si la quasi-totalité de grands groupes de forge français fait largement appel à la simulation, les

# Huit applications types

## 1. Prédiction de microstructures



**Entreprise :** Aubert & Duval

**Objectifs**

- Prévoir l'évolution des microstructures pendant le forgeage;
- Définir des cartes de microstructures;
- Créer des modèles liés à chaque matériau.

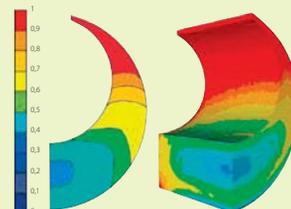
**Bénéfices**

- Modélisation thermodynamique au plus juste, maillage le plus fin possible, données parfaitement ajustées.

**Et demain**

- Continuer le développement en partenariat pour les aciers.

## 2. Simulation du traitement thermique (trempe et revenu)



**Entreprises :** Manoir Industries en collaboration avec PSA, Ascometal, etc.

**Objectifs**

- Modélisation, validation et simulation des phénomènes dans le traitement thermique des aciers (50-60 essais par nuance pour une caractérisation thermodynamique);
- Maîtrise des propriétés de la pièce forgée.

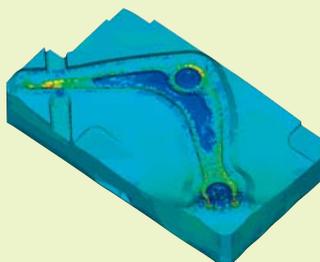
**Bénéfices**

- Validation industrielle réussie pour la trempe, construction du modèle pour le revenu.

**Et demain**

- Développer des modèles pour d'autres alliages (Inox, aluminium, etc.).

## 3. Calcul des outillages de forge



**Entreprise :** PSA

**Objectifs**

- Assurer une analyse élasto-plastique d'outillages avec un outil prédictif.

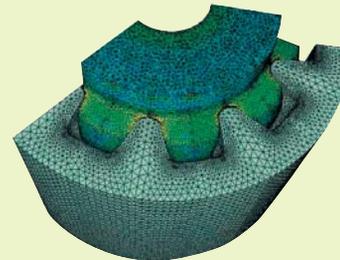
**Bénéfices**

- Durée de vie des outillages améliorée grâce à une réduction d'usure significative.

**Et demain**

- Appliquer le même raisonnement à tous les outillages de forge.

## 4. Amélioration des gammes de forgeage



**Entreprise :** Ascometal Creas

**Objectifs**

- Optimiser la gamme pour éliminer certains défauts (fissures) de pièces qui présentent un coût d'outillage important comme les petits pignons.

**Bénéfices**

- Le logiciel a démontré que l'on peut réduire l'effort de forgeage de 17 % (gain de 52 matrices et augmentation de la production de 30 %).

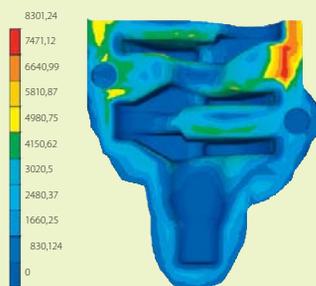
**Et demain**

- Automatiser la fonction d'optimisation de la gamme.

© PHOTOS DR

Les premiers utilisateurs témoignent, chacun sur une fonctionnalité précise, des atouts et du potentiel du logiciel Forge 2005.

### 5. Usures des outillages de forges



Entreprise : Sifcor

#### Objectifs

→ Étude de la gamme, réduction du poids de lopins, analyse de la durée de vie des outillages.

#### Bénéfices

→ Détecter la zone qui s'use la première.

#### Et demain

→ Améliorer les temps de calculs nécessaires pour la simulation.

### 6. Contrôle de défauts (sur fil d'acier)



Entreprises : Ascometal Creas

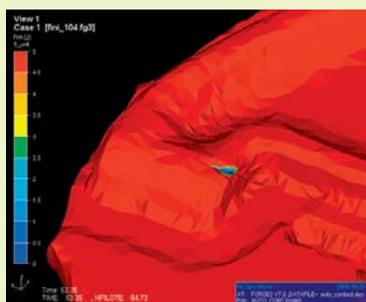
#### Objectifs

→ Détecter les causes et trouver les remèdes aux défauts de fabrication (marques de liens sur fils d'acier).

#### Bénéfices

→ La simulation démontre que la modification des nuances n'a aucun effet sur les marques; en revanche, le changement de forme (fil plat de 8 mm de large) réduit de 45 % ces défauts.

### 7. Identification d'un défaut (repli localisé)



Entreprise : Aubert & Duval

#### Objectifs

→ Déterminer la cause d'un défaut sur une pièce de présérie (un repli localisé toujours au même endroit sur un train d'atterrissage en acier).

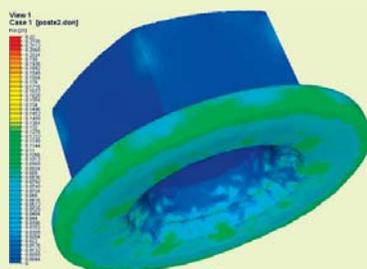
#### Bénéfices

→ La simulation a mis en évidence les opérations à effectuer.

#### Et demain

→ Étendre l'analyse à d'autres défauts.

### 8. Détection des défauts (craques)



Entreprise : Lisi Automotive

#### Objectifs

→ Déterminer la cause de certains défauts (craques) sur les pièces réalisées par frappe à froid.

#### Bénéfices

→ La simulation permet de jouer sur la gamme de déformabilité ou sur la nuance pour éliminer les défauts.

#### Et demain

→ Spécifier un métal pour une application donnée.

### ► L'essentiel

- La simulation détermine la micro-structure cristalline la plus à même de fournir les caractéristiques mécaniques nécessaires à une pièce.
- Elle prévoit la nature, l'intensité et la localisation d'éventuels défauts dans la structure de la matière.
- Elle s'étend actuellement à l'automobile, après avoir été développée dans des domaines à forte valeur ajoutée (nucléaire...).

autres entreprises sont plus réticentes», note Jean-Claude Crapart du Cetim. Pour la simple raison qu'elles ne peuvent pas envisager l'embauche d'un spécialiste du calcul numérique. Il faut donc rendre encore plus accessible le logiciel et continuer l'action de promotion auprès des PME effectuée dans le cadre de Simulforge par le Cetim et le Cemef. Une dizaine d'entreprises volontaires ont profité d'une assistance *in situ* pour la simulation d'une de leurs pièces représentatives et ont pu en apprécier les gains qualitatifs et quantitatifs. Quelles seront les suivantes ? L'avis aux amateurs est lancé... →