

# Code\_Aster open source un vecteur de développement durable

Jean-Raymond LEVESQUE <sup>1</sup>

1. Animateur du Réseau Professionnel Code\_Aster – Ancien Directeur de Projet EDF R&D  
[jean-raymond.levesque@orange.fr](mailto:jean-raymond.levesque@orange.fr) et [contact@code-aster.pronet.org](mailto:contact@code-aster.pronet.org)

## Résumé

En analysant les besoins d'un exploitant d'installations industrielles, on présente les objectifs de la simulation numérique à EDF (Electricité de France) qui a choisi une politique de développement de logiciel « domestique » pour programmer et capitaliser ses travaux de recherche et des modèles numériques dédiés à ses besoins d'ingénierie dans la plateforme Salomé pour mettre en œuvre *Code\_Aster* et plusieurs autres codes.

Ce choix est détaillé pour répondre à la question « Comment traduire les exigences de qualité ? » : les processus de développement, de Vérification et de Validation et la qualification des outils.

Pour partager les développements internes, plusieurs modèles de diffusion ont été analysés. Le modèle économique de logiciel libre est appliqué depuis 2001.

Des contributions significatives et des témoignages de la Communauté d'utilisateurs, ont permis de mettre en place un réseau professionnel international.

Une opportunité pour les transferts université – industrie.

## Mots clefs :

**Simulation industrielle – Open source – Qualité des logiciels – Partage de savoir-faire – Capitaliser la R&D – Aide aux Bureaux d'étude**

## 1. Electricité de France et la simulation numérique en mécanique

Electricité de France (EDF) a choisi de devenir un acteur de la simulation numérique il y a plus de cinquante ans pour répondre à des besoins spécifiques et à mis en place une politique de développement d'outils logiciels.

### 1.1 Des besoins de long terme

Pour bien appréhender le contexte dans lequel EDF R&D a choisi d'engager le développement de *Code\_Aster*, il est important de rappeler qu'EDF est avant tout, en tant que producteur – transporteur - distributeur d'énergie électrique, un exploitant de matériels et ouvrages mécaniques (centrales nucléaires et thermiques, barrages, pylônes, postes et lignes).

EDF est, parfois, co-concepteur mais jamais fabricant de matériels ou d'ouvrages mécaniques.

Pour l'essentiel, l'activité de R&D en mécanique des structures concerne les spécificités fortes des ouvrages **la durée de vie et les exigences de sécurité.**

En tant qu'exploitant, EDF est responsable de l'utilisation sûre de ses ouvrages vis-à-vis des autorités de sûreté, qui en autorisent le fonctionnement. Toute évolution du matériel s'appuie sur des référentiels méthodologiques et des outils validés, éprouvés et approuvés.

L'Autorité de sûreté nucléaire demande à EDF **l'analyse permanente du retour d'expérience**, et procède régulièrement à la réévaluation de sûreté.

La seconde spécificité liée au contexte nucléaire (mais aussi pour les barrages et les lignes) est la durée de vie. Ainsi, l'activité de R&D de mécanique des structures concerne la justification de la bonne tenue de ces ouvrages dans le temps.

## 1.2 Les objectifs de simulation numérique

La simulation numérique joue un rôle essentiel pour évaluer des événements non prévus à la conception, l'impact du vieillissement des matériaux et des composants, les interventions liées à la maintenance ou l'installation de nouveaux composants. L'évolution des règlements de sécurité conduisent à réévaluer les marges de sécurité en mettant en œuvre des méthodes de simulation non linéaires, alors que la conception initiale avait été conduite en simulation linéaire.

Les outils de simulation doivent permettre sur de longues périodes :

- La **capitalisation des connaissances** sur des modèles physiques et numériques de phénomènes complexes,
- Le recours à des **matériels de haute performance (HPC)** pour des problèmes plus grands et plus précis,
- Le meilleur niveau de supervision des incertitudes pour donner confiance dans les résultats,
- La qualité des processus d'études par la validation et la qualification des logiciels et des méthodes.

## 1.3 Une politique des logiciels adaptée

Après une phase d'apprentissage aux méthodes de calcul notamment à la méthode des éléments finis et la réalisation de plusieurs logiciels spécifiques, EDF a choisi en 1989 de systématiser une **politique de développement « domestique »** pour programmer et capitaliser ses travaux de recherche et des modèles numériques dédiés dans **un logiciel unique de mécanique et thermomécanique**, le *Code\_Aster*.

Ce projet a permis de mettre en place un **processus de validation et de qualification** des méthodes, avec des transferts rapides de la R&D à l'Ingénierie.

Une **architecture modulaire** a permis de mutualiser pour l'ensemble des formulations un gestionnaire de mémoire; un moteur de gestion des éléments finis, des bibliothèques pour l'optimisation des temps de calcul sur des machines mono processeur et multi processeurs.

Une méthode de **développement coopératif** entre différentes équipes (machines tournantes, chaudronnerie nucléaire, processus de soudages, tuyauteries et échangeurs, digues et barrages, ouvrages de génie civil) et les disciplines physiques (mécanique de la rupture, métallurgie, vibrations et acoustique, thermomécanique, géo mécanique, matériau béton ...) rend le logiciel utilisable pour de nombreux problèmes.

L'éventail de modélisations concerne [2] [3] :

- analyses thermiques et mécaniques,
- analyses statiques et dynamiques, linéaires ou non,
- analyse modale transitoire, harmonique ou aléatoire,
- 400 modèles d'éléments finis : 3D, 2D ; coques et plaques, poutres et câbles, tuyaux ...
- un grand spectre de chargements,
- des interactions avec d'autres formulations physiques (couplées ou non) : fluide, sol-structure ...

Ces fonctionnalités générales sont complétées de divers modèles spécifiques et de formulations non linéaires :

- Contact et frottement,
- Grands déplacements et grandes déformations,
- Modèles de matériaux (100 lois de comportement),
- Mécanique de la rupture, dommage et fatigue, soudage et écrouissage, analyse sismique
- Géo matériaux, béton et milieux poreux ...

Pour mutualiser le développement et la maintenance des outils complémentaires à la mise en œuvre de la méthode des éléments finis et la visualisation des résultats, il est apparu judicieux d'engager le développement coopératif (EDF – CEA – Euriware) d'une plateforme interopérable de simulation [4] : CAO – MODELISATION - MAILLAGE - GESTION de la simulation - VISUALISATION - POST TRAITEMENT des résultats.

Cette plateforme est notamment utilisée avec *Code\_Aster* (Méca), *Code\_Saturne* (CFD), *Syrthes* (Thermo-hydraulique), *Openturns* (Incertitudes) ....

L'ensemble du langage de commande de *Code\_Aster* peut être complété, pour des enchainements spécifiques (études paramétriques, optimisation et ajustement de modèles) avec instructions en langage *Python*.

## 2. Traduire les exigences de qualité

Les exigences de qualité nécessitent de prévoir des dispositions d'organisation sur l'ensemble du cycle de vie du logiciel. Le fait d'avoir un processus se déroulant sur une très longue période (près de 30 ans) nécessite de

traduire le traditionnel cycle en V de l'organisation de la qualité, pour l'adapter au développement continu, à la mise en service de versions industrielles et au traitement du retour d'expérience.

### 2.1 Le processus de développement

La première règle a été l'unicité de la bibliothèque source à laquelle sont intégrés tous les développements et toutes les corrections d'anomalies. Celle-ci évolue toutes les semaines et est soumise à une méthodologie de Vérification (règles de programmation – présentation de la justification des choix du programmeur – historique des interventions ...). Cette version est la **version testing**, stabilisée tous les six mois qui devient la **version stable** industrielle tous les deux ans.

### 2.2 La documentation

La version **stable** est accompagnée d'une documentation très complète de plus de 20.000 pages - version 12).

La **documentation d'utilisation** classique (227 documents) : commandes utilisables et paramètres.

La **documentation de Référence** (192 documents), décrit avec précision les modèles effectivement implantés (équations, paramètres de résolution ...).

La **documentation de développement** (128 documents) fournit tous les éléments d'architecture et les procédures d'enrichissement des modèles.

### 2.3 Processus de Vérification - Validation

Pour apporter des preuves de la pertinence du logiciel un très grand nombre de cas test sont documentés dans la **documentation de Validation** (1.100 documents), Pour tout nouveau développement un ou plusieurs cas test prouvent la qualité numérique des résultats.

Pour vérifier la qualité globale du logiciel l'ensemble des tests sont exécutés à chaque évolution du code source. Plus de 3.000 cas tests différents, constituent un outil pour l'auto apprentissage.

### 2.4 La qualification des outils

Les utilisateurs ont une responsabilité pour l'exploitation industrielle des logiciels et la garantie de la qualité des résultats qu'ils produisent : gestion des compétences et formation à une bonne utilisation sont déterminantes.

## 3. Partager ces développements internes

La priorité d'EDF était de satisfaire cette démarche de la qualité pour les équipes chargées des études internes et celles en charge du développement.

### 3.1 Pourquoi étendre la diffusion ?

- Rechercher plus utilisateurs et des usages variés ;
- Multiplier les comparaisons sur les performances ;
- Utiliser les bons outils et standards d'échange ;
- Permettre des fournisseurs de services compétents ;
- Favoriser les projets coopératifs.

### 3.2 Les modèles de diffusion envisagés

La tentation d'une diffusion commerciale ne pouvait pas se concrétiser à partir du moment où EDF ne souhaitait pas dégager des ressources spécifiques au marché externe. A la fin des années 1990, il est également apparu impossible de trouver un ou des distributeurs respectant les enjeux fixés au développement interne.

### 3.3 Le modèle économique des logiciels

L'analyse du modèle économique des logiciels commerciaux fait apparaître des mécanismes qui nuisent aux transferts de technologies entre recherche, université et industrie.

Pour répondre à ses objectifs EDF a choisi en 2001 de diffuser *Code\_Aster* en logiciel libre sous la licence GNU Public Licence.

### 4. Mise à la disposition de la Communauté

Quinze années de diffusion par internet permettent de tirer un bilan positif de ce modèle Open source.

#### 4.1 Différentes distributions

La **distribution de référence**, [www.code-aster.org](http://www.code-aster.org) comprend l'ensemble des sources de la version validée utilisée par EDF. Les prérequis pour la compilation sont clairement définis. Pour la **plateforme Salomé Méca**, un paquet exécutable est mis à disposition tous les ans. Le système d'exploitation de référence est Linux.

La distribution **CAE Linux** fournit gratuitement plusieurs packages d'outils libres pour l'ingénierie [www.caelinux.com](http://www.caelinux.com). Pour Windows, HPC ou Cloud Computing différents packages sont distribués par des fournisseurs de service en France et en Allemagne.

#### 4.2 Un corpus documentaire (licence GNU)

Tous les documents décrits sont accessibles en français et en traduction automatique en anglais. L'ensemble des documents de formation, utilisés par EDF sont également diffusés en anglais. [5].

Plusieurs tutoriaux et ouvrages libres ont été publiés par des membres de la Communauté [6].

#### 4.3 Un forum des utilisateurs

Des dizaines de milliers de téléchargements avec plus d'un million d'utilisateurs très fidèles se retrouvent dans le Forum public qui assure une assistance par des membres de la Communauté ou des développeurs.

#### 4.4 Des contributions significatives

Des outils de « forge » standard ont permis d'intégrer plusieurs développements nouveaux au logiciel.

Chaque année une vingtaine d'anomalies détectées, sur la version de développement, par des utilisateurs externes, contribuent à l'extension de la qualité.

Chaque année plus de vingt thèses ou projets collaboratifs s'appuient sur *Code\_Aster* Open source.

### 5. Un réseau professionnel international

Des contributions significatives et des témoignages de la Communauté d'utilisateurs, ont permis de mettre en place un réseau de partage : le *Code\_Aster Professional Network* (ProNet), sans préoccupations commerciales.

Aujourd'hui ce réseau réunit plus de **70 membres de 16 pays différents** représentatifs du **monde industriel et d'organismes publics**, de **fournisseurs de services** et d'**enseignants** utilisant *Code\_Aster*.

Les domaines de modélisation représentés concernent notamment l'aéronautique, l'industrie horlogère, les machines tournantes, le bâtiment et le génie civil.

Depuis juin 2015, un bulletin d'information; en langue anglaise, sur les activités du Réseau et des exemples d'applications significatives est diffusé largement [7].

### 6. Conclusion

Cette histoire propose un modèle de développement durable aux équipes universitaires des pays émergents :

- la **pertinence des outils de simulation n'est pas acquise indéfiniment** et la R&D doit y contribuer ;
- la **qualité d'un logiciel n'est pas uniquement prouvée par la réputation** de son interface utilisateur et les raccourcis accessibles à la souris ;
- la **qualité des études de simulation suppose une formation approfondie des utilisateurs** ;
- la **capitalisation du savoir-faire de la recherche appliquée et le transfert de compétences** n'est pas forcément compatible avec la logique commerciale.

Pour un bureau d'étude ou une entreprise **l'économie des coûts de licence peut avantageusement dégager des ressources** pour approfondir la formation des utilisateurs, la qualification et l'adaptation des outils aux enjeux de la simulation numérique.

### 7. Bibliographie

- [1] Wikipédia, L'encyclopédie Libre. – *GNU General Public License* – [https://fr.wikipedia.org/wiki/Licence\\_publice\\_générale\\_GNU](https://fr.wikipedia.org/wiki/Licence_publice_générale_GNU)
- [2] EDF-R&D – *Code\_Aster web site*. 2016 – <http://web-code-aster.org/spip.php?rubrique1>
- [3] EDF-R&D – *Plaque Code\_Aster* – [http://code-aster.org/UPLOAD/DOC/Presentation/plaque\\_aster\\_fr.pdf](http://code-aster.org/UPLOAD/DOC/Presentation/plaque_aster_fr.pdf)
- [4] DURAND Christophe – *Plateforme Salomé Méca* – [http://web-code-aster.org/UPLOAD/DOC/Presentation/2008\\_Manchester.pdf](http://web-code-aster.org/UPLOAD/DOC/Presentation/2008_Manchester.pdf)
- [5] EDF-R&D – *Tutoriaux de formation à l'utilisation de Code\_Aster* – <http://web-code-aster.org/spip.php?article9>
- [6] AUBRY Jean-Pierre – *Beginning with Code\_Aster. A Practical Introduction to Finite Element Method Using Code\_Aster, Gmsh and Salome* – Framabook, 2013 – [http://framabook.org/beginning-with-code\\_aster/](http://framabook.org/beginning-with-code_aster/)
- [7] ProNeT – *Lettre trimestrielle PRONET UPDATE* – <http://web-code-aster.org/spip.php?article889>