

Une expérience de diffusion en logiciel libre à EDF R&D : la diffusion de Code_Aster

1. Introduction

La diffusion de logiciel libre concerne, le plus souvent, les « technologies logicielles » [systèmes d'exploitation, langages et bibliothèques] utilisées pour développer ou faire fonctionner d'autres logiciels que l'on qualifiera d'applicatifs. Elle concerne parfois des applicatifs très génériques [suites bureautiques, systèmes de gestion de base de données] mais très rarement jusqu'ici des logiciels applicatifs « disciplinaires » tels que les codes de calcul scientifiques par exemple.

De même, elle émane le plus souvent de structures universitaires ou de professionnels de l'informatique (constructeurs, éditeurs,...) mais assez rarement de grands groupes pour lesquels le développement logiciel ne constitue pas l'activité principale.

Le présent article expose donc, au travers du choix d'EDF R&D de diffuser librement, depuis fin 2001, l'un de ses logiciels scientifiques (Code_Aster), une expérience relativement originale à ce jour.

Pour mieux appréhender la logique de cette décision, on rappelle d'abord quelques éléments de contexte sur la place de l'activité concernée : la R&D en mécanique des structures, ainsi que les motivations qui ont conduit EDF R&D à être développeur de son propre logiciel dans ce domaine. On présente ensuite les motivations associées à la décision de diffusion externe de ce logiciel et les raisons du choix, in fine, d'une licence « open source ». Enfin, on présente la démarche de mise en libre de Code_Aster en soulignant quelques aspects juridiques et de management ainsi que les modalités pratiques et on conclut par quelques éléments de retour d'expérience deux ans après cette décision.

2. Contexte : place de l'activité concernée : la R&D en mécanique des structures

Pour bien appréhender le contexte dans lequel EDF R&D a choisi de diffuser Code_Aster en logiciel libre, il est important de rappeler qu'EDF est avant tout, en tant que producteur (voire transporteur et 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 jusqu'ici fabricant de matériels ou ouvrages mécaniques.

Par ailleurs, pour l'essentiel, l'activité de R&D en mécanique des structures concerne les ouvrages de production nucléaires auxquels deux spécificités fortes sont associées.

D'une part, EDF est, en tant qu'exploitant, responsable de l'exploitation sûre de ses ouvrages vis-à-vis de l'Autorité de Sûreté, seule habilitée à en autoriser le fonctionnement. Il s'en suit que tant la conception que les éventuelles modifications de nos centrales doivent reposer sur des référentiels méthodologiques et des outils validés, éprouvés et approuvés par l'Autorité de Sûreté. Le rôle joué par une activité de R&D dans ce cadre n'est donc pas identique au cas d'une entreprise manufacturière classique sollicitant sa R&D à des fins concurrentielles de conception ou d'optimisation de produits ou de couples produits - procédés.

La seconde spécificité liée au contexte nucléaire (que l'on retrouve également pour les barrages et les lignes électriques) réside dans la durée de vie des ouvrages concernés (a minima trente ans). Ainsi, l'activité de R&D de mécanique des structures concerne

pour une très grande part, la justification de la bonne tenue (en terme de sûreté) de ces ouvrages afin d'en optimiser la valeur productive au travers de leur durée de vie globale et de leur éventuelles opérations de maintenance.

Ainsi, la R&D intervient le plus souvent, non pas à l'amont de la conception mais à l'aval et essentiellement afin de comprendre des événements non prévus ou pris en compte à la conception, pour quantifier, en cas d'aléas, des marges vis-à-vis des études de conception et pour justifier de l'utilisation en l'état ou apprécier au mieux l'éventuelle nécessité de réparation ou remplacement de matériels.

3. Contexte : pourquoi et comment EDF R&D développe en propre certains logiciels

Initié au cours des années soixante dix, le recours à la modélisation et la simulation numérique a atteint au cours des années quatre-vingt une certaine maturité en faisant une activité à part entière, notamment au niveau des structures de R&D. C'est ainsi que sur avis de son Conseil Scientifique, EDF R&D a décidé en 1988 d'engager la réalisation en propre de Code_Aster : logiciel de calcul par la méthode des éléments finis en mécanique des structures. Les principales raisons motivant ce choix étaient et demeurent :

- ✓ la volonté de maîtrise des modélisations numériques de nos ouvrages afin de pouvoir porter un avis critique sur les études constructeurs ;
- ✓ la volonté de capitalisation des travaux de R&D dans un code unique afin de mutualiser les coûts de développement entre différents domaines métiers (tenue de la cuve et des organes principaux du circuit primaire, soudage, séisme, machines tournantes, génie civil,...) et de participer à une bonne gestion des connaissances et compétences sur le long terme ;
- ✓ la volonté de permettre un transfert rapide des modèles mis au point par la R&D vers l'ingénierie et ce dans un souci d'indépendance vis-à-vis d'un ou plusieurs éditeurs de logiciels ;
- ✓ la capacité, enfin, de pouvoir construire des solutions métiers intégrées (schémas de calcul prédéfinis et connexions à des bases de données de matériaux, géométries, chargements,...) permettant de concilier réactivité et productivité des études et cohérence des modélisations employées.

Engagé début 1989, le développement de Code_Aster a été organisé pour ses trois premières versions et jusqu'en 1996, en mode projet avec une équipe en charge de la réalisation d'un cahier des charges prédéfini. A compter de cette date, compte tenu de l'ampleur prise par ce projet, un nouveau mode d'organisation en réseau, qui s'apparente au mode de développement des logiciels libres, a été mis en place. Il s'appuie :

- ✓ sur une équipe centrale ; responsable de la cohérence des travaux menés au sein de la plate-forme de développement et des développements à caractères génériques mais également de la version en exploitation au sein des différentes directions d'EDF (R&D, Ingénierie,...) et de leurs sous traitants ;
- ✓ ainsi que sur une quinzaine de projets applicatifs qui, dans le cadre de leur travaux de R&D viennent développer et capitaliser dans le code de nouvelles possibilités de modélisation.

Ce mode de développement s'accompagne par ailleurs de plusieurs caractéristiques également communes au développement de logiciels libres :

- ✓ la mise à disposition permanente à l'ensemble de la communauté des contributeurs au développement du code (~ 60 personnes par version) de l'ensemble des sources du logiciel (de sa documentation) et des procédures de restitution des développements effectués ;
- ✓ l'absence de cahier des charges et plus généralement de cycle en V ; le versionnement du logiciel ne pouvant être qu'asynchrone vis-à-vis du phasage des différents projets contributeurs à son développement ;
- ✓ et enfin une forte proportion (environ un tiers) des utilisateurs finaux du logiciel qui sont également, à différents degrés d'engagement, contributeurs de son développement.

On pourra visiter le site www.code-aster.org pour une présentation détaillée des principales fonctionnalités et exemples d'utilisation de Code_Aster. , et on donne uniquement ci-dessous quelques chiffres caractérisant l'ampleur de ce projet :

- ✓ 1 000 000 lignes de sources ;
- ✓ 1400 tests gérés en configuration (1 000 000 lignes de commandes) ;
- ✓ 10 000 pages de documentation d'utilisation, référence, validation et informatique (en ligne) ;
- ✓ 15 années de développement et d'utilisation interne à EDF ;
- ✓ 20 développeurs permanents ; 50 contributeurs par version ;
- ✓ 40 mises à jours annuelles de la version de développement ;
- ✓ une version d'exploitation qualifiée tous les deux ans (corrigée à 6 mois).

4. Les motivations : pourquoi une diffusion externe ?

En 1997, le logiciel ayant atteint une certaine maturité, les possibilités d'une diffusion et valorisation externe ont été étudiées. Les objectifs recherchés étaient la volonté de « contrôle qualité » des développements réalisés, par le jugement externe, ainsi qu'une possible réduction des coûts de maintenance (corrective et évolutive) par l'augmentation du nombre d'utilisateurs et les droits de licence afférents. EDF R&D ne souhaitant pas s'engager en tant qu'éditeur logiciel, trois concessionnaires furent chargés de diffuser la version 4 de Code_Aster « sur étagère » durant la période mi 98, mi 2000. Au terme de cette expérience, le bilan fut extrêmement modeste. Les principales raisons analysées furent les suivantes :

- ✓ le logiciel était incomplet (absence de pré et post traitement associés à l'offre) pour « séduire » en l'état dans une approche marketing ;
- ✓ la « force » du logiciel résidait dans ses capacités d'expertise mais l'implication technique d'EDF et des trois concessionnaires fut insuffisante pour porter cette « différenciation technique » du produit auprès des éventuels clients ;
- ✓ le choix de diffuser le code sur « étagère froide » et sans possibilité de développement complémentaire n'était cohérent ni avec les forces ni avec les faiblesses du logiciel. En effet, tant pour pallier le manque d'environnement utilisateur que pour intéresser un marché d'expertise, nécessitant des fonctionnalités très pointues ou spécifiques, la possibilité d'ajouter des développements au logiciel tel que diffusé par EDF était absolument nécessaire, mais non permise dans l'offre diffusée.

C'est pourquoi, l'expérience de diffusion commerciale du code sur étagère froide ne fut pas poursuivie au delà de la version 4 et une nouvelle réflexion sur l'opportunité

d'une diffusion externe fut engagée avec les quatre objectifs suivants fixés par la Direction d'EDF R&D :

- ✓ accroître la qualité du code en augmentant ses usages ;
- ✓ accroître le réservoir de compétences disponibles autour de Code_Aster, tant pour nos politiques de partenariats de R&D que pour la qualité des études sous traitées¹ ;
- ✓ ne pas mobiliser (beaucoup) de ressources internes pour cette diffusion et, en particulier, ne pas s'engager dans une logique de croissance en vue d'éventuels succès ;
- ✓ ne pas exiger en retour, des bénéfices financiers directs ni un retour sur investissement des efforts consentis pour le développement du logiciel.

Compte tenu de ces objectifs, l'instruction d'une possibilité de diffusion de Code_Aster sous licence libre fut engagée fin 1999 et aboutit début 2001 à la décision de principe d'une telle diffusion.

5. Les motivations : des objectifs de valorisation au choix de licence

Pour compléter le paragraphe précédent sur le choix d'une diffusion en logiciel libre, on empruntera aux travaux de Laure Muselli² sur les liens entre les objectifs d'une diffusion externe et le choix de licence associé. En effet, bien qu'ayant été établie pour des acteurs des « technologies logicielles » cette classification apporte un éclairage complémentaire sur les objectifs de diffusion externe relatifs à Code_Aster et le choix de licence associé. Selon Laure Muselli, les quatre types d'orientation stratégiques associés à une diffusion externe sont :

- ✓ **la valorisation patrimoniale** : qui consiste à générer des revenus en échange de droits d'usage et conduit au choix d'une licence « propriétaire » la plus couramment utilisée dans l'édition de logiciels.
- ✓ **le contrôle des firmes concurrentes** : dans ce cas, l'objectif est d'asseoir le positionnement de l'entreprise sur son marché en favorisant l'usage de ses produits tout en se protégeant d'éventuelles possibilités de rémunération (pour des tiers) d'innovations apportées au logiciel initial. Cette stratégie conduit généralement à des licences dites hybrides qui présentent certaines caractéristiques des licences libres (pour inciter à l'usage) tout en comportant des clauses restreignant au seul auteur la possibilité de créer des produits dérivés du logiciel initial moyennant redevances. Un exemple de ce couple « stratégie - licence » est fourni par la licence Java de Sun Microsystems.
- ✓ **la création de coopération** : dans ce cas, le but recherché est de partager les efforts nécessaires à un processus d'innovation incrémental et cumulatif. Le choix de la licence a alors pour but d'inciter le licencié à utiliser et contribuer aux améliorations du logiciel. Les licences libres sont alors généralement choisies. Pour un éditeur (ou plus exactement l'auteur « vivant » de l'activité logicielle) le retour sur investissement d'une telle démarche réside alors dans la fourniture de

¹ Ce point est essentiel dans la mesure où l'absence de diffusion externe conduit, de fait, EDF à être seul à financer le développement de compétence vis-à-vis du code tant dans les organismes de recherche partenaires que chez nos fournisseurs d'études.

² Laure Muselli [Université Paris XIII] : « La licence, un outil stratégique pour les éditeurs de logiciels » dans « Nouveaux modèles économiques, nouvelle économie du logiciel » ; Rapport RNTL, novembre 2002.

prestations d'assistance et d'expertise ainsi que dans le partage de ses propres coûts de R&D dans la mesure où il profitera des améliorations apportées au logiciel par la communauté.

- ✓ **l'établissement de standard** : dans ce cas c'est essentiellement l'usage, plus que des contributions au développement, qui sont recherchés. La principale caractéristique des licences associées à ce type de stratégie sera alors un prix faible voire nul quitte à créer un système de licences multiples en fonction du type d'usage ou du profil de l'utilisateur.

Il est clair que concernant Code_Aster, c'est de la stratégie de création de coopération que notre propre stratégie de diffusion se rapproche le plus et partant que le choix d'une diffusion sous licence libre apparaît comme cohérent. On peut même ajouter que nos objectifs de diffusion, rappelés ci-dessous, ainsi que la contrainte de ne pas développer une activité tournée vers l'externe, renforcent l'intérêt d'une licence libre dans la mesure où celle-ci rend possible l'émergence de distributeurs de services qui, n'ayant pas à amortir l'investissement relatif au développement du logiciel, pourront développer une activité rentable qui viendra compenser la non présence d'EDF sur ce domaine et permettra de toucher des utilisateurs ayant besoin de service d'accompagnement et que la seule diffusion libre du logiciel ne permettrait pas d'atteindre directement.

En résumé, on retiendra que la finalité et le mode de développement interne de Code_Aster ainsi que nos objectifs de diffusion et aussi nos contraintes conduisent à un choix de diffusion sous licence libre qui semble cohérent et sans doute plus pertinent que le choix d'une valorisation patrimoniale au travers d'une licence commerciale classique.

6. Nos objectifs et cibles de diffusion

Objectifs de diffusion :

reconnaissance par l'usage : en créant un réseau plus large d'utilisateurs, le code sera soumis à des épreuves et des comparaisons nouvelles. Les modélisations disponibles et les nouveaux développements seront ainsi mieux « qualifiés » et les défauts identifiés plus rapidement. Les possibilités d'interopérabilité contribueront au partage du savoir-faire des métiers et garantiront une meilleure preuve des modèles.

contributions à l'environnement d'étude et aux applications : l'adaptation d'un code généraliste par éléments finis à des études spécifiques offre un large champ d'expression. Les protocoles d'échange de données, les possibilités du langage de supervision Python, également disponible en logiciel libre et l'architecture objet permettent cet enrichissement. Ces contributions, publiques ou privées, permettront d'augmenter le domaine d'usage du code et de bénéficier de la créativité du réseau.

contributions à de nouvelles modélisations dans Code_Aster : à partir de la conception objet et de l'architecture générale du code, plusieurs champs de contributions sont possibles. Diverses méthodologies permettent de nouveaux développements : commande spécifique, nouvel élément fini ou champ de grandeurs, modèle « utilisateur » de comportement... La méthodologie de non-régression de l'existant à chaque évolution est proposée au réseau pour garantir la cohérence d'ensemble.

Cibles de diffusion :

En proposant un logiciel libre nous permettons à chaque acteur d'évaluer le logiciel à son rythme en supprimant le préalable financier, pour les chercheurs, ou en modifiant l'ordre des critères de choix pour les industriels (évaluer l'intérêt vis-à-vis des

possibilités de maîtrise, d'indépendance,...). Ainsi quatre cibles d'utilisateurs peuvent être identifiés :

les industriels et centres techniques : qui trouveront une structure d'accueil complémentaire pour capitaliser et/ou partager leur efforts de R&D mais aussi pour développer des applications spécifiques nécessitant un code non linéaire ;

les équipes de recherche : qui trouveront une plate-forme de simulation 3D permettant la capitalisation pérenne de leurs travaux de R&D de manière indépendante de telle ou telle solution commerciale ;

les fournisseurs de service : qui pourront proposer des solutions complémentaires de pré ou post traitement, réaliser des applications dédiées à des domaines ou des composants particuliers ainsi que des offres de services accompagnant (formation, assistance technique, maintenance personnalisée,...) ;

les formateurs : qui auront accès à un logiciel industriel dans le domaine non linéaire, sans restriction d'emploi et avec l'ensemble de sa documentation théorique et un corpus de tests et exemples significatifs.

7. Les modalités pratiques :

La décision de principe étant acquise quant à sa pertinence vis-à-vis de nos objectifs et contrainte, les travaux préparatoires furent engagés. Ils peuvent se résumer en trois catégories : juridiques, organisationnels et de management, techniques et de communication.

Concernant les aspects juridiques, il s'agissait d'une part de vérifier si EDF R&D était habilitée, en regard du principe de spécialité qui limite EDF (en France) dans ses possibilités de diversification ainsi que des règles de droit de la concurrence, à engager la diffusion libre de Code_Aster. Sur ces deux points, nos juristes conclurent qu'EDF était légitime à engager la diffusion libre de Code_Aster. Par ailleurs, il s'agissait de définir le type de licence libre. Sur ce point, après avoir envisagé de rédiger une licence spécifique et beaucoup échangé avec l'European Free Software Foundation, nous avons opté pour la licence GPL (GNU General Public Licence) qui est la licence utilisée par environ 70% des logiciels libres.

On notera que le caractère prétendument viral de la licence GPL (qui s'étend obligatoirement à toutes les évolutions du logiciel initial) ne nous a pas semblé être « dangereux » dans la mesure où Code_Aster n'est pas une bibliothèque servant à la construction d'applications plus finalisées mais est déjà un logiciel applicatif et que, d'autre part, la GPL n'impose nullement la gratuité des prestations réalisées et notamment des éventuelles diffusions complémentaires. Ainsi la GPL nous a semblé permettre de concilier la volonté de garantie de l'intégrité des évolutions de Code_Aster et la possibilité, à des tiers, d'adapter (et adopter) le code pour leurs besoins ou réaliser des activités rémunératrices.

Concernant les aspects organisationnels et de management, le premier objectif fut d'étudier si la création d'un comité de pilotage, également appelé « core team », réunissant plusieurs acteurs institutionnels intéressés pour s'engager dans la définition des évolutions future de la version libre de Code_Aster était possible. Dans ce but quelques contacts avec des groupes industriels ayant recours à des processus de développement internes furent pris. Ils ne permirent pas d'aboutir et on choisit donc d'initier la diffusion libre de Code_Aster sur la base de la version EDF du logiciel et avec EDF comme principal animateur de la communauté. Ainsi on notera que le développement de Code_Aster ne répond pas exactement au modèle standard d'un logiciel libre dans la mesure où jusqu'ici EDF décide seul des évolutions du code

diffusé en libre qui reste (jusqu'ici) une déclinaison de la version du logiciel utilisée par EDF alors que, dans un modèle libre « usuel », le mécanisme devrait être inversé et la version utilisée par EDF décliner de la version libre. On notera pour conclure sur ce point que deux acteurs (DeltaCad, puis un peu plus tard CS) décidèrent de se positionner rapidement sur le marché des services associés à Code_Aster libre et d'ouvrir des sites Internet dédiés³.

Le second objectif organisationnel et de management fut plus centré sur l'interne. En effet, dans la perspective de constitution d'un « premier cercle » de contributeurs au développement de la version libre de Code_Aster, il était nécessaire de s'assurer que l'équipe de développement actuelle était prête à partager sa responsabilité aujourd'hui exclusive sur le logiciel. Par ailleurs, il s'agissait également d'envisager les modalités selon lesquelles la version EDF « qualifiée nucléaire » de Code_Aster pourrait être construite à partir d'une version libre dont le développement ne suivrait pas nécessairement le même processus qualité. Vis-à-vis de certains développeurs un accompagnement sur le bien fondé d'une telle décision fut également nécessaire dans la mesure où la mise à disposition gratuite du logiciel pouvait être considérée comme synonyme d'un manque de juste considération de la valeur de leur travail. Enfin, il était important d'obtenir une adhésion suffisamment forte pour notamment l'animation des forums tout en veillant à éviter un investissement excessif au détriment de notre mission interne. Sur ce point et après deux ans de fonctionnement, on peut noter que l'engagement **personnel** de quelques développeurs aura été essentiel au démarrage de la communauté.

Concernant les aspects techniques et de communication, quelques travaux furent nécessaires à la préparation des sources, des opérations de téléchargements et aux adaptations du site intranet pour une utilisation Internet (niveaux de visibilité différenciés, suivi des téléchargements,...). Par ailleurs le financement de trois sessions de formation gratuites (à l'utilisation et au développement) pour favoriser les premiers usages fut décidé ainsi que quelques opérations de communications (presse métiers, conférence de presse, numéro spécial du journal du code,...). Enfin, afin de pallier l'absence de pré et post processeurs intégrés à Code_Aster, l'interfaçage avec le logiciel gratuit (désormais également sous licence GPL) Gmsh fut réalisé.

On présente ci-dessous ce qui est diffusé et téléchargeable sur le site www.code-aster.org depuis le 15 octobre 2001 :

- ✓ la totalité des sources de la version de développement (mise à jour tous les 6 mois) ;
- ✓ une version exécutable sous linux ;
- ✓ l'accès aux versions des langages Python et Tcl Tk utilisés par Code_Aster ainsi qu'au logiciel d'optimisation de résolution de systèmes linéaires METIS ;
- ✓ des composants complémentaires à Code_Aster :
 - ✓ ASTK : Gestionnaire d'étude et de développements privés
 - ✓ Efficas : Editeur graphique de fichiers de commande ;
 - ✓ MED : module d'échanges de données entre codes (utilisés par EDF, CEA et le projet Salomé notamment) ;
 - ✓ Gmsh dans son niveau de version interfacé avec Code_Aster ;
 - ✓ Homard : logiciel d'adaptation de maillage interfacé avec Code_Aster ;

³ www.code-aster-services.com pour DeltaCad et http://dps.c-s.fr/srhtml/aster/aster_accueil_fr.html pour CS.

- ✓ l'ensemble de la documentation (10 000 pages), plus de 350 cas test commentés et illustrant les possibilités du code, les comptes rendus de toutes les modifications portées à la version en développement à EDF, l'accès à trois forums thématiques,...

8. Quels résultats après deux années ?:

Depuis décembre 2001, trois versions successives de Code_Aster ont été proposées au téléchargement. Elles ont toutes été téléchargées dans plus de 500 laboratoires, entreprises ou adresses privées différentes. Quotidiennement, plus de 300 visiteurs hors EDF parcourent le site et plus de 700 internautes se sont identifiés pour avoir accès à la documentation du code. Enfin, plus de 150 utilisateurs ont postés plus 1500 messages sur les forums et plusieurs portages réalisés par la communauté [FreeBSD, Mac OS et Windows disponible sur le site de Delta Cad www.code-aster-services.com].

En octobre 2003, la première journée Aster libre organisée sur le campus de l'UTC a démontré que le premier objectif lié à la diffusion du code en logiciel libre ; l'appropriation par une large communauté d'utilisateur, était en passe d'être gagné : sans être encore structurée en une communauté, il existe une réelle collectivité d'utilisateurs externes, certains possédant une véritable expertise des utilisations du code et la mettant à l'œuvre dans des projets importants, d'autres étudiant l'insertion de Code_Aster au sein de processus plus globaux de modélisation : lien avec maillage et visualisation, outils métiers, optimisation et recalage,....

On note également une appropriation intéressante par le secteur de l'enseignement⁴ et par certains laboratoires de recherche qui nous permet déjà d'orienter certaines de nos politiques de partenariats.

En revanche, le marché de prestation reste encore modeste et le défi à relever est désormais celui du développement partagé : trop peu de retours de développements sont aujourd'hui constatés sur le site de Code_Aster alors qu'un parcours sur le forum montre à l'évidence que ces développements commencent à exister. Au-delà de ce défi, pointe un autre challenge : faire émerger une «Core Team» pour employer le langage du logiciel libre, c'est à dire un premier cercle d'acteurs organisés, prêt à contribuer et s'impliquer dans les évolutions du logiciel.

⁴ Le premier partenariat conclu autour de Code_Aster libre relève d'ailleurs de ce domaine. Réunissant EDF R&D, le projet de campus numérique en mécanique, Mecagora et la société Delta-Cad, ce partenariat a pour objectif la réalisation d'un support de formation à la simulation numérique en mécanique avec Code_Aster et son interfaçage avec le logiciel de pré et post traitement GiD [issu de l'Université de Barcelone]. Il permettra à l'ensemble des élèves ingénieurs des écoles partenaires du projet Mecagora [Insa, Ensam et Universités de Technologies soit plus de 6000 élèves ingénieurs] d'avoir ainsi accès à Code_Aster dans le cadre de leur formation.