

EN SII

De la FAO à l'EAO

MARC POLIZZI ^[1]

Les process industriels sont plus que jamais réalisés à l'aide d'outils logiciels d'assistance et de simulation. Côté école, les filières d'ingénierie mécanique ont dû suivre cette même évolution des entreprises de production afin de rester cohérentes. Comment s'est passée cette mutation, et comment les enseignants ont-ils apprivoisé ces technologies numériques dans le temps ? Éléments de réponse.

Proposer une réflexion sur l'apport du numérique en sciences industrielles de l'ingénieur (SII) et plus particulièrement en ingénierie mécanique, c'est en quelque sorte faire la synthèse des différentes mutations numériques de ce secteur et voir comment elles ont été vécues, subies ou transcendées.

Nous commencerons donc par parcourir la ligne du temps afin de mettre en évidence les mutations dans les domaines des logiciels, des machines-outils et des référentiels. Ensuite, nous nous intéresserons aux outils numériques pour en distinguer deux grandes familles couramment utilisées en ingénierie mécanique. Nous découvrirons qu'un logiciel n'est jamais neutre, qu'il sous-tend toujours une façon de voir les choses, une façon de travailler via son ergonomie. Nous verrons alors comment, pédagogiquement parlant, ces outils et leur interface homme-machine (IHM) interfèrent avec le travail de l'enseignant.

La simulation est réputée être une bonne base de l'apprentissage inductif. Mais est-ce vrai dans le métier de l'usinage par enlèvement de copeaux ? Certes le logiciel permet un affinage progressif et un contrôle visuel en 3D, mais est-ce suffisant pour parcourir la boucle d'apprentissage IEA (idée, essais, analyse) efficacement ?

Après un petit bilan technico-pédagogique qui soulignera les limites du virtuel, nous aborderons les perspectives : tablettes, « cloud », réalité augmentée, que peut-on attendre de ces nouveaux outils numériques ?

Enfin, en conclusion, nous reviendrons sur les bases, sur le travail de l'enseignant, la pédagogie et la didactique.

mots-clés

CAO et DAO, FAO, numérique, productive, simulation

Historique de la CFAO

Depuis quand le numérique est-il vraiment intégré dans nos formations ? Quels furent, dès le départ, les changements de paradigmes que cela a entraînés ? C'est une question importante. En effet, ce n'est qu'en sachant d'où l'on vient que l'on peut évaluer la trajectoire, les avancées, voire pressentir un futur possible.

● Côté logiciels

Historiquement, c'est AutoCAD 2D qui fut le premier outil logiciel CAO ayant pris de l'ampleur dans l'industrie et dans l'Éducation nationale. Tous les autres concurrents de la décennie 1987-1997 sont morts. Comme la solution d'Autodesk n'incluait pas la FAO – et ne l'inclut toujours pas –, dès le départ, ce sont des applicatifs intégrés qui en ont pris la fonction. Citons EfiCN, un module complémentaire toujours d'actualité (pour l'usinage du bois sous AutoCAD et pour l'usinage des métaux sous SolidWorks). À l'époque, nous étions en 2D, bien sûr.

Puis l'offre logicielle DAO-CAO s'est considérablement enrichie, la 3D prenant le dessus ; toutefois le côté FAO est resté sur des solutions plus spécifiques, plus « métier », à l'instar de TopSolid.

Dans les années 2000, Catia V5 et SolidWorks vont venir largement concurrencer Autodesk dans le domaine de la mécanique générale. Catia (Computer-Aided Threedimensional Interactive Application) fut le premier logiciel assurant la chaîne numérique complète non rompue et, de ce fait, est devenu la référence en aéronautique et en automobile. Il répond à un besoin de traçabilité complète et de pérennité, exigées sur 10 ans dans l'automobile, sur 20 ans dans l'aéronautique et le spatial, et sur 30 ans dans l'armement. Afin d'assurer l'intégration du PLM (*product lifecycle management*), Catia intègre les modules Delmia, Enovia et maintenant 3Dvia pour la réalité virtuelle. La V6 à l'ergonomie « moderne » remplace progressivement la V5, mais les fichiers restent compatibles V5 (R19 et +).

Depuis 2009, malgré la sortie de la V6, Catia est largement concurrencé en CAO comme en FAO, par TopSolid déjà cité, mais aussi par Creo de PTC avec sa plate-forme cloud Windchill (voir « À propos de Windchill » en encadré). Catia-Delmia et sa nouvelle plate-forme 3DExperience pousse encore plus loin la dématérialisation, avec la maquette virtuelle grandeur nature opérationnelle dès cette année !

[1] Professeur agrégé de sciences industrielles de l'ingénieur, spécialité ingénierie mécanique, au lycée Jean-Jaurès d'Argenteuil (95).

L'histoire de la CFAO est donc marquée par trois grandes étapes, 2D, 3D, cloud, et au moins deux grands changements, deux changements de paradigme, dont le dernier est en cours.

● Côté machines-outils

Entre 1987 et 2007, nous allons vivre la disparition complète des machines, dites traditionnelles, manuelles sans DNC. Le premier passage est la numérisation des axes existants : tournage 2 axes, fraisage 2 axes 1/2. Puis le nombre d'axes augmente, pour aboutir aux centres d'usinage, de tournage ou de fraisage avec 5 axes ou plus **1**.

Que de bouleversements ! Toute une pédagogie à inventer, toute une technologie à s'approprier, nous sommes bien loin de la stabilité des matières non techniques. En parallèle, les normes de sécurité évoluent, la caractérisation des machines aussi, et l'accès visuel et kinesthésique à l'opération de coupe disparaît, avec, ce qui a un énorme impact sur la pédagogie, l'apprentissage.

● Côté référentiel

Là aussi, de profondes modifications, les passages du BTS FM (Fabrication mécanique) au BTS Productique puis IPM (Industrialisation des produits



1 L'apprentissage du 5 axes devient un standard, ce qui était impensable il y a 5 ans

mécaniques) en constituant la partie visible. Le profil des étudiants venant en STS Ingénierie mécanique est progressivement passé de bac E pas très autonome à bac pro TU, du monde des concepts et de la transposition au monde de l'application linéaire de procédures types.

Donc oui, on peut vraiment parler de changement de paradigmes : ces trois facettes entrant en synergie dans notre enseignement, de profondes et réelles mutations furent à négocier, et ce n'est pas fini. L'impact sur la pédagogie des avancées du numérique, que ce soit côté logiciel ou côté machine, est incontestable, l'évolution du public venant accentuer encore la nécessité d'adaptation et de mutation de notre enseignement.

FAO & EAO

Maintenant que nous avons retracé cette trajectoire globale et ses profondes mutations technologiques, penchons-nous sur un aspect plus spécifique aux sciences de l'ingénieur : comment utiliser, détourner, adapter les outils numériques industriels pour les utiliser pédagogiquement lors de nos séquences d'enseignement ? En ingénierie mécanique, comment passer de la FAO à l'EAO, c'est-à-dire de la fabrication assistée par ordinateur à l'enseignement assisté par ordinateur ?

Pour détourner facilement un outil numérique métier en outil pédagogique, il faut que le logiciel remplisse l'un des deux critères suivants :

- être totalement neutre, et, comme un Lego, permettre de construire ce que l'on veut ;
- être conceptuellement irréprochable, conforme en tout point avec le cours, la théorie.

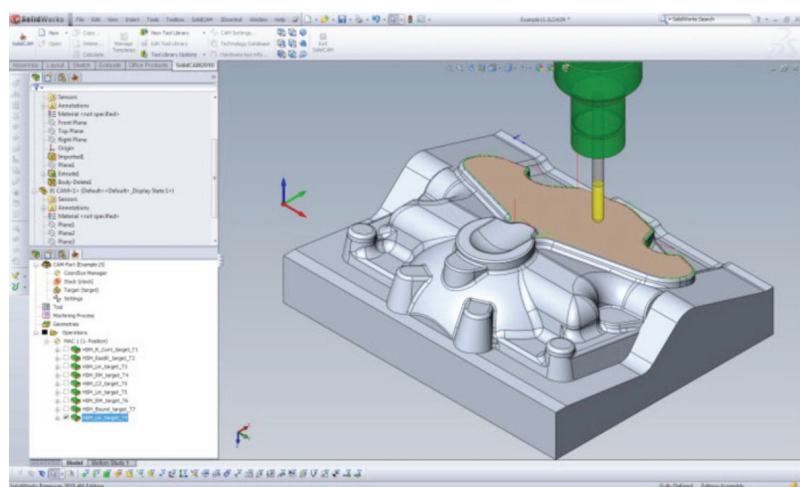
Matlab, par exemple, répond bien au premier critère, la neutralité. Il fait des maths, et des applicatifs peuvent donc être mis au point dans n'importe quel domaine. En FAO, on va trouver Catia, un logiciel qui sait piloter des modèles 3D, des cinématiques, et intégrer des modules métier externes sous forme d'entrées/sorties. Pour Matlab comme pour Catia, le travail pédagogique est énorme. Il faut partir de rien et tout construire pour arriver à des séquences pédagogiques adaptées au programme et aux étudiants. De plus, la prise en main du logiciel peut être une étape préalable obligatoire – particulièrement chronophage pour Catia V5. C'est seulement dans le cadre d'un BTS, où sa maîtrise est

attendue et reconnue par la profession, que l'apprentissage de Catia V5 sur des dizaines et des dizaines d'heures est possible **2**.

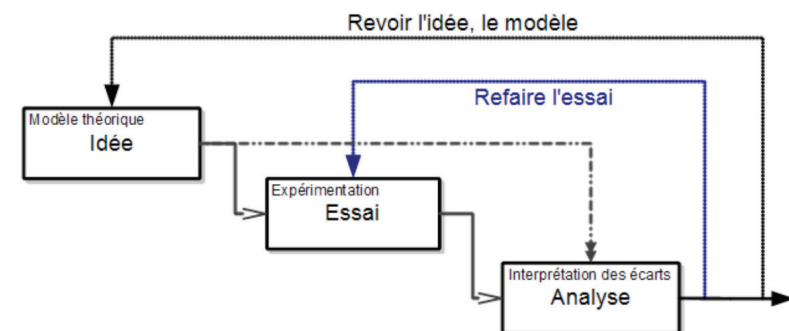
Pour le second critère, être conceptuellement valable, on trouve des FAO comme TopSolid de Missler, outil logiciel totalement orienté métier avec une expertise réelle.

En métrologie, les logiciels de type Prelude Inspection font le pont entre les deux impératifs : ils possèdent d'une part une base mathématique complète et d'autre part des menus orientés métier. La valeur de la spécification cherchée peut donc être trouvée par construction géométrique ou via la bonne option des menus.

Au final, les problèmes pédagogiques viendront des outils numériques ni neutres ni conceptuellement valides. Il s'agit de tous les logiciels industriels spécifiquement développés pour des us et coutumes non vraiment formalisés et mis au point par tâtonnement, par « bricolage ». Ces logiciels sont légion – même en métrologie –, et obligent le pédagogue à des prouesses et contorsions périlleuses s'il veut rester conforme à la théorie qu'il enseigne.



2 L'amélioration de l'ergonomie des FAO ne permet pas de rattraper l'augmentation de la complexité



3 La boucle d'apprentissage IEA

D'autres logiciels, moins orientés métier, sont également utilisables et intégrables dans nos formations. Il y a bien sûr le tableur, mais aussi les outils de « mind mapping » et les logiciels de projet. En termes de compétences terminales, la maîtrise d'un tableur, des cartes heuristiques ou d'un logiciel de gestion de projet n'est pas explicitement requise. C'est donc au pédagogue, en fonction de son public et du temps disponible, de voir si ce type d'outils est intégrable à sa progression. En effet, leurs apports pédagogiques sont indiscutables si l'on veut sortir de l'approche « boîte noire », si l'on veut faire assimiler le b.a.-ba. Par exemple, le tableur permet de bien comprendre et de décomposer les formules de base en usinage. Ensuite, tous les usineurs utilisent des calettes métier qui remplacent les règles et abaques d'autrefois. On repasse alors dans la boîte noire, Sandvik, Titex, Seco ou Horn ; chacune étant adaptée de façon très spécifique au produit, les résultats sont spécifiques aussi.

En EAO, le tableur est donc l'outil nécessaire pour l'étape pédagogique de compréhension du formulaire de base ; puis on passe rapidement sur des outils FAO qui intègrent tous ces formulaires métiers de façon transparente.

La place de la simulation

Est-ce plus facile de faire passer un savoir ou un savoir-faire avec des outils de simulation ? En ingénierie comme dans bien d'autres domaines, l'outil de simulation virtuelle est un plus certain, car il permet de parcourir la boucle d'apprentissage IEA autant de fois qu'on le désire **3**.

Le numérique, c'est au minimum le modèle théorique (ou empirique) que l'on a programmé sur un support informatique. Ensuite, cet outil numérique peut servir de simple outil de répétition fiable, ou, s'il y a un système expert embarqué, d'outil d'aide à la décision. Si l'on modélise et numérise également la partie expérimentation, il devient possible d'intégrer dans l'outil numérique la dernière étape d'analyse. C'est le principe de la simulation, dont l'intérêt a été démontré en premier lieu par le simulateur de vol.

En pédagogie, on va retrouver les mêmes avantages qu'avec le simulateur de vol : gain d'argent, gain de sûreté, gain d'expérience et de sécurité pour l'utilisateur. Il est largement préférable que la FAO nous annonce que l'outil s'encastre dans le mandrin à la onzième minute plutôt que de le découvrir sur la machine, lors de l'usinage de la pièce d'essai. De plus, l'étudiant va pouvoir modifier sa trajectoire et relancer la simulation vidéo ainsi que l'analyse des collisions autant de fois qu'il le désire. Il va pouvoir parcourir la boucle d'apprentissage un grand nombre de fois en toute autonomie.

En termes d'apprentissage toujours, le grand inconvénient du simulateur purement informatique, c'est qu'il nous contraint à abandonner le sens pro-

prioceptif, le côté kinesthésique de la mécanique, encore très présent dans les savoir-faire des métiers de l'usinage. Audition, vue et kinesthésie sont des modes d'acquisition de connaissances qui ne doivent pas être négligés, comme le démontre encore une fois le simulateur de vol, dont les derniers modèles sont bien loin de la simple console de jeu.

Dernier point, un simulateur simple, outil purement logiciel, permet une duplication facile sur les postes de TP. C'est un énorme avantage de pouvoir lancer un TD avec un groupe avec un logiciel installé sur tous les postes. La plupart des sociétés qui proposent des outils de simulation l'ont bien compris, et proposent souvent une licence établissement, voire une licence gratuite pour les étudiants.

Bilan technico-pédagogique

Faire passer un savoir ou un savoir-faire avec des outils numériques est évidemment un énorme avantage si ce savoir est de nature informatique ou logicielle. En revanche, s'il s'agit d'un savoir-faire lié à la matière, à la réalité des machines ou des outils, là, il y a un manque certain. Ce manque sera facilement comblé par les étudiants à l'aise dans l'abstrait et les concepts, car ils feront facilement le pont entre la réalité objective et la réalité virtuelle. En revanche, pour les étudiants ayant des difficultés d'abstraction, ce qui est le profil de nos nouveaux étudiants qui proviennent d'un cursus bac pro TU, l'outil numérique devient un handicap.

Reprenons l'exemple de la FAO dont le rendu vidéo permet de valider les trajectoires et même les collisions si l'environnement machine est convenablement renseigné. Le fait d'avoir une bonne vidéo et aucune alerte de la FAO alors que les paramètres de coupe sont hautement fantaisistes induit l'étudiant en erreur. En calcul de devis, pour l'estimation du coût de la pièce, il ne se rend pas compte que les temps affichés par la FAO sont à remettre en question, et à l'atelier, en usinage réel, il n'est pas assez prudent avec les pièces d'essai.

En conception, pour les montages d'usinage, on va retrouver les mêmes avantages et les mêmes inconvénients qu'en FAO. Parmi les inconvénients, tout le monde reconnaît le problème de l'usinabilité des pièces ou de la disponibilité réelle des composants : une CFAO ne sait pas vous dire si un ensemble est réalisable ou non. Côté avantages, l'étude des interférences, la possibilité d'animer les parties mobiles et le calcul des déformations sont des plus indéniables pour mieux concevoir et plus vite.

Les perspectives

Les tablettes

Si l'on veut que nos étudiants soient préparés à l'industrie aéronautique, ils doivent aussi être sensibilisés à

la chaîne numérique. Le maintien de la cohérence de cette chaîne oblige à ne plus raisonner en tranches, mais en global. Ainsi la mise au point du programme CN doit-elle se faire en mode natif et non avec le bloc-notes ou équivalent. Pour cela, au pied de la machine, il faut le même outil logiciel qu'en préparation et en programmation – les tablettes sous Windows 8 vont progressivement remplacer les PC XP.

Beaucoup d'industries sont en train de vivre ce changement, et de nouvelles offres naissent. Spring Technologies a par exemple gagné un trophée de l'innovation 2014 avec son produit Wysiwyc. Cet outil numérique permet à l'opérateur, tablette PC en main, de superviser simultanément en temps réel plusieurs machines-outils, en sachant où, quand et comment intervenir.

Le cloud

Dernière mutation, le « cloud » : il s'agit de dématérialiser le logiciel lui-même, une simple connexion Internet ou intranet permettant de travailler à plusieurs sur un même projet et bien sûr de le partager avec les futurs utilisateurs ou les managers de revues de projet.

Pédagogiquement, Google Apps for Education permet déjà de le faire gratuitement pour les outils de bureau et même en CAO avec Google SketchUp.

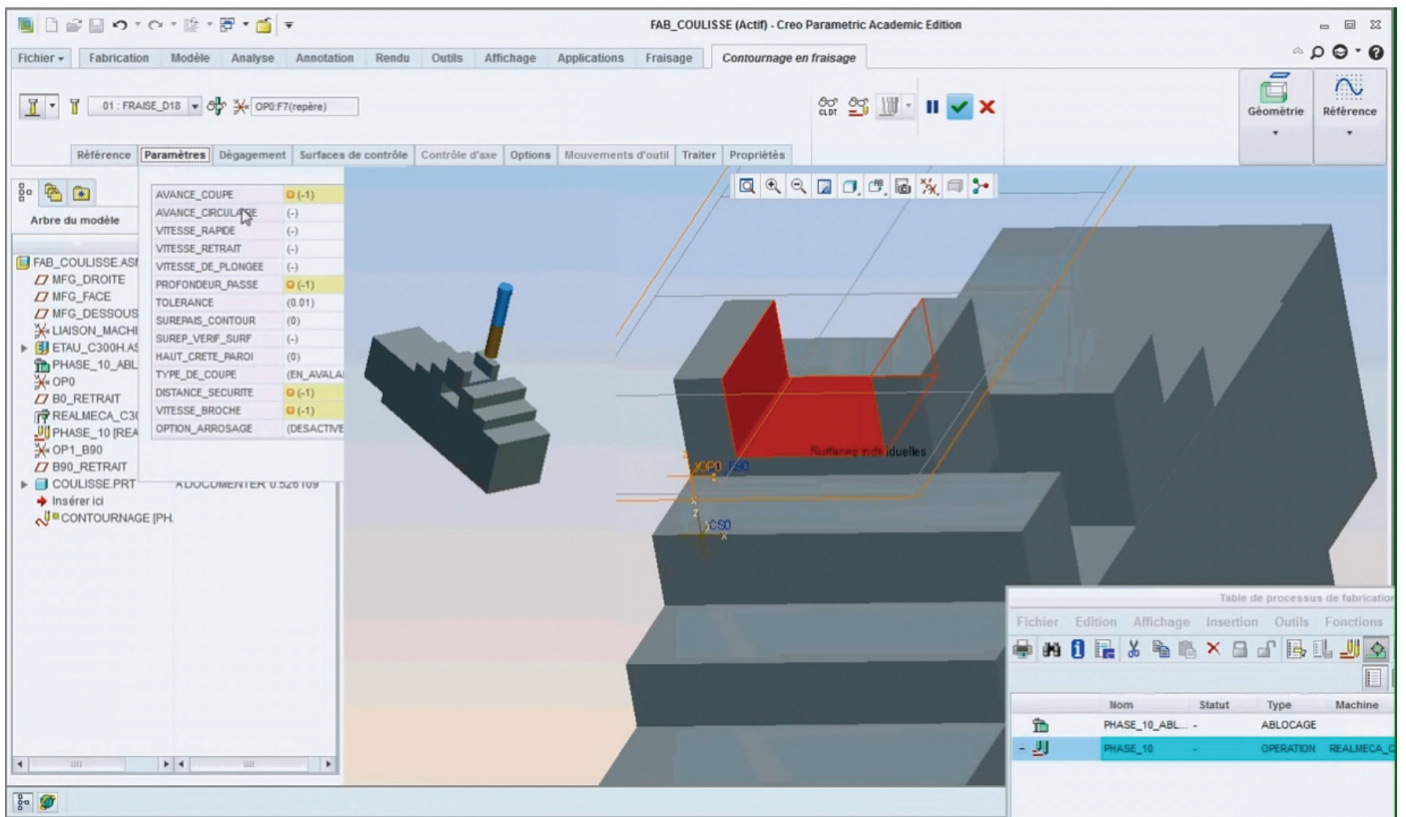
Catia mène un projet dans ce sens, la plate-forme 3DExperience. C'est une plate-forme professionnelle, disponible sur site, ainsi qu'en environnement cloud public ou privé. 3DVia est la clé de voûte de cette nouvelle plate-forme. L'aspect usinage – y compris la simulation machine – est pris en charge par le module Delmia et non plus par Catia.

Plus accessible, et réellement disponible, Creo de PTC avec la plate-forme Windchill est déjà utilisé par des BTS CPI, et notre collègue Thierry Portmann du lycée Louis-Couffignal de Strasbourg en a même validé le côté FAO (voir « À propos de Windchill » en encadré). De plus, la possibilité de travailler dans un environnement multi-CAO est un énorme avantage pour les projets faisant intervenir de nombreuses entreprises.

Plus près de notre réalité d'enseignants, le travail en plate-forme permet un réel travail collaboratif au niveau d'un regroupement de lycées ou d'une académie – voire au niveau national ! Pouvoir travailler en binôme avec un collègue d'une autre académie, et, pour les étudiants, faire les revues de projet avec l'équipe qui viendra les évaluer, en voilà les retombées immédiates **4**.

La réalité augmentée

En ingénierie mécanique, à chaque saut technologique, que ce soit côté MOCN ou côté CFAO, il faut s'adapter et donc revoir la quasi-intégralité des supports pédagogiques. Même de façon marginale, comme l'IHM change souvent avec les versions, il est nécessaire de faire la mise à jour des notices ou des consignes. Pour pallier ce problème de mise à jour de la documentation, la



4 Le cloud, un véritable outil transdisciplinaire

nouvelle approche s'appelle réalité augmentée. L'idée est de superposer des informations virtuelles 2D ou 3D sur des images du monde réel. L'étudiant prend un outil, une fraise avec plaquettes par exemple, et une vidéo présentant comment changer les plaquettes va apparaître sur la tablette qui filme, ou en haut à droite de lunettes spéciales. C'est le menu contextuel des logiciels que l'on ouvre par un clic droit, mais cette fois-ci sur du réel, ou plutôt sur l'image numérique du réel.

Là encore Catia fait partie du mouvement, et propose, via des lunettes-viseur et bientôt des capteurs morphologiques, une réalité augmentée dans une réalité virtuelle ! Vous vous promenez dans le projet, par exemple un centre d'usinage géant multiaxe, multitourneuse, multipalette, et quand vous pointez un objet, vous obtenez toutes les informations de la base de données : courses, puissance, nom du fournisseur, etc.

Nul doute que ces nouvelles évolutions technologiques auront un impact sur nos pratiques pédagogiques, mais, cette fois-ci, pour les simplifier. Comme avec un simulateur de vol, nos étudiants pourront apprendre à piloter un centre d'usinage sur des simulateurs avant de passer sur des machines réelles.

Une mise à jour technologique et pédagogique permanente

Le travail de l'enseignant suppose bien évidemment une connaissance de l'objet du savoir, mais également de

la manière dont les élèves construisent leurs connaissances. En didactique, par exemple, on considère que l'apprentissage idéal consiste à placer l'élève devant un problème à résoudre dont la solution conduira à la construction de la connaissance visée.

La tâche de l'enseignant, notre tâche, est donc de créer des scénarios d'apprentissage, et, pour cela, il nous faut au minimum savoir le faire. La mutation technologique rapide et celle du numérique, encore plus rapide, imposent une remise à plat tous les 10 ans de nos préparations. Dans un secteur comme celui de l'industrialisation, l'évolution des outils numériques est inéluctable, savoir les intégrer est donc une compétence nécessaire. Recontextualiser les connaissances est alors un énorme travail... le travail de l'enseignant. ■

À propos de Windchill

Les articles de Thierry PORTMANN dans *Technologie* :
 « Le travail collaboratif avec Windchill », n° 170, novembre-décembre 2010
 « Projet industriel pour lycées en réseau », n° 185, avril 2013

Le site Formations Creo Windchill
<https://sites.google.com/site/formationscreowindchill/home/formation-a-creo>