

BTS CIM

# Un projet couronné par un

WILLIAM FOURMENTAL, EN COLLABORATION AVEC PHILIPPE JEANNEROD<sup>[1]</sup>

**Lorsqu'elle repose sur un véritable projet industriel, l'activité de projet remporte l'adhésion des étudiants. La qualité de leur travail est alors récompensée par une excellente note à l'examen... et, dans des cas exceptionnels, par un trophée !**

La société Dynadent, entreprise alsacienne, est spécialisée dans le commerce et la diffusion de produits pharmaceutiques. Elle souhaite développer ses propres produits dans le domaine de la chirurgie dentaire. Dans cette optique, son gérant, M. Abd al-Qadir Maadi, a sollicité, par l'intermédiaire de la plate-forme technologique Microtechniques-Prototypage (voir en encadré), les enseignants de la STS CIM du lycée Edgar-Faure de Morteau pour l'étude et la réalisation d'un dispositif de bridge autoréglable.

[1] Respectivement professeur de génie mécanique au lycée Gustave-Eiffel de Cachan (94) et professeur de mécanique au lycée Edgar-Faure de Morteau (25).

## mots-clés

analyse fonctionnelle, conception et définition, lycée technologique, postbac, prototypage, référentiel et programme, sujet d'examen

### La PFT Microtechniques-Prototypage

La plate-forme technologique (PFT) Microtechniques-Prototypage est un groupement d'intérêt public « innovation et transfert de technologie » (GIP ITT) qui regroupe trois établissements publics, le lycée Edgar-Faure de Morteau, l'IUT GMP (Génie Mécanique Productique) et le lycée Jules-Haag de Besançon. La complémentarité de ces trois établissements permet à la PFT d'être présente dans différents secteurs d'activité en microtechniques et prototypage, tels que l'automobile, la micromécanique, l'électronique, l'art, le design, l'architecture, le maquettisme, l'horlogerie, la bijouterie et bien d'autres encore. La PFT Microtechniques-Prototypage s'adresse à toutes les entreprises, de Franche-Comté ou d'ailleurs, et propose ses compétences en étude et réalisation de pièces, en conseil, en assistance technique, en essais et en veille technologique. Elle possède des systèmes de prototypage de hautes technologies (photopolymérisation de résines, imprimante 3D à dépôt de fil, stratoconception), une unité de fonte à cire perdue pour prototyper des pièces métalliques à partir de pièces en cire ou en résine thermofusible (VC500D Induterm), une unité de coulée sous vide pour réaliser des pièces en résine bicomposant (Schüchl), un laser de découpe (Cheval), des équipements de rétroconception, de numérisation 3D par lumière structurée et par laser, d'électroérosion fil et enfonçage, des moyens de contrôle (MMT, MMO), des centres d'usinage (3 et 5 axes), des têtes UGV, etc.

C'est également un mini-centre de recherche et de transfert de technologies au service des PME, des PMI, des artisans...

[www.lycee-morteau.com/pftproto/](http://www.lycee-morteau.com/pftproto/)

Ils ont répondu favorablement à cette demande, qui est donc devenue le thème d'un projet d'étudiants de deuxième année.

### Le produit

Actuellement, après l'extraction d'une dent, on peut combler le segment édenté par une prothèse provisoire fixe, scellée sur les dents qui lui sont adjacentes, qui doivent être taillées (alors qu'elles peuvent être totalement saines), ou par une prothèse mobile fixée par des crochets aux dents adjacentes. Ces deux types de prothèses sont généralement préparés par un prothésiste dentaire. Avant la pose soit d'une prothèse « mobile » définitive soit d'une prothèse fixe de type implant ou de type « bridge » accrochée aux dents adjacentes obligatoirement taillées, ces éléments provisoires assurent une réhabilitation fonctionnelle, améliorent la présentation esthétique, et favorisent le bon déroulement de la cicatrisation osseuse. Mais ils présentent des

### L'organisation du projet de seconde année

(Extrait du référentiel du BTS Conception et industrialisation en microtechniques de 2003)

#### Définition du projet

Le projet s'inscrit dans le cadre de la conception détaillée et de la préindustrialisation d'un produit microtechnique. Il aboutit à la réalisation d'un prototype ainsi qu'à la réalisation et la mise en œuvre des outillages de validation associés. Le projet sert de support d'évaluation à l'épreuve E6. Il sert aussi de support pédagogique pour la préparation aux épreuves E4 (conception préliminaire) et E5 (conception détaillée).

#### Authenticité du produit microtechnique support du projet

Le produit étudié appartient au domaine des microtechniques, par son caractère industriel, il met l'étudiant dans un contexte professionnel, il est pluritechnologique. Son développement doit prendre en compte, s'il y a lieu, l'ensemble des technologies des microsystèmes. Les activités associées à la réalisation du projet sont des activités de synthèse relatives aux fonctions étude, préparation et réalisation. Deux points d'entrée dans le projet sont possibles : soit la conception d'un produit à partir de l'expression du besoin, soit la reconception d'un produit à partir d'un dossier de conception préliminaire.

#### Organisation des activités de projet

À la mi-octobre de la seconde année, le projet, confié à une équipe de 3 à 6 étudiants, sera validé par une commission interacadémique de validation sous la responsabilité de l'inspecteur général en charge du diplôme. En aucun cas, une quelconque activité liée au projet ne devra être prévue en première année.

# Micron d'or

inconvenients : l'inesthétisme dû aux crochets sur les dents supports, l'encombrement important et la perte rapide d'une bonne adaptation au fur et à mesure de la cicatrisation.

Imaginé par le Dr Mahfoud Maadi, le bridge autoréglable est une solution économique et fiable qui élimine les problèmes de détérioration des dents et diminue considérablement les coûts. Ce produit a fait l'objet d'un brevet déposé à l'INPI (téléchargeable, voir en encadré page suivante), qui sera la base de travail des étudiants. Son principe ? s'appuyer sur les deux dents bordant l'édentement **1**. Il est ensuite recouvert d'une résine polymérisable modelée en forme de dent **2**.

## Le projet

Si l'équipe de professeurs est le chef d'orchestre de l'activité de projet, le référentiel du BTS CIM (voir en encadré) en est la partition et donne le tempo. Le



**1** Le bridge autoréglable définitif réalisé par les étudiants

## Micronora

Créé il y a près de 40 ans, le salon international des microtechniques et de la haute précision se tient tous les deux ans à Besançon, capitale de l'horlogerie. Il réunit des participants de domaines variés comme l'aéronautique, le médical, l'horlogerie, la métrologie, etc. Depuis 2006, un pavillon Nanotechnologies marque davantage la présence des entreprises d'hyperprécision.

Lors du salon sont décernés les Microns d'or, qui récompensent six réalisations microtechniques pour leur caractère innovant.

### Les chiffres clés de l'édition 2010

565 exposants directs auxquels il faut ajouter 300 firmes ou marques représentées

36 % exposants étrangers, 34 % nationaux et 30 % régionaux.

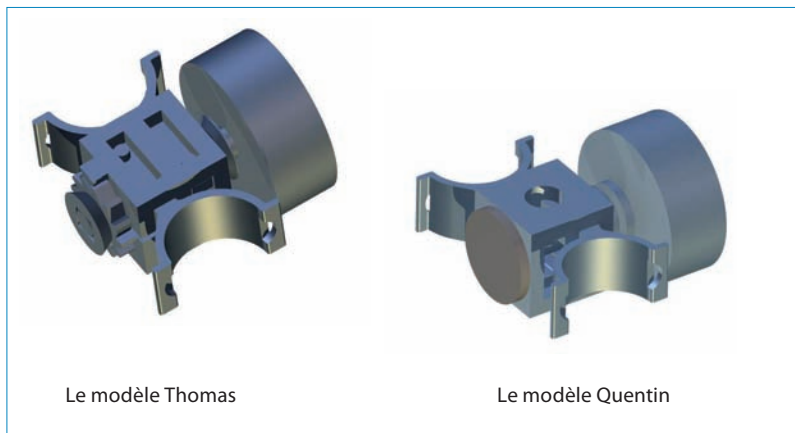
14 206 visiteurs

Prochain rendez-vous Micronora : du 25 au 28 septembre 2012 à Besançon

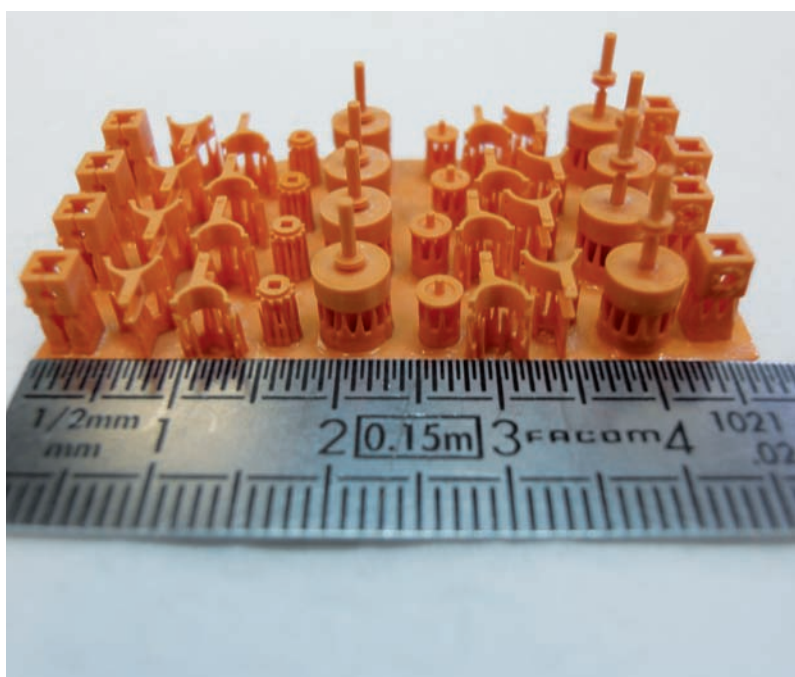
[www.micronora.com](http://www.micronora.com)



**2** Le modelage d'une fausse dent



3 Les 2 prototypes



4 Pièces obtenues par prototypage rapide

### LE BREVET DÉPOSÉ À L'INPI (EXTRAITS)

N° de publication : 2937856

N° d'enregistrement national : 0806030

#### *DISPOSITIF DENTAIRE pour combler temporairement l'édentement consécutif à l'extraction d'une dent et procédé de mise en œuvre de ce dispositif*

La présente invention concerne un dispositif dentaire (10) pour permettre de combler temporairement l'édentement (50) consécutif à l'extraction d'une dent, ce dispositif étant agencé pour être mis en place dans un espace localisé entre deux dents adjacentes (30, 40) bordant ledit édentement, caractérisé en ce qu'il comporte un bloc central (11) et deux bras (12, 13) opposés, extensibles entre une position rétractée et une position étendue, ces bras portant chacun à leur extrémité libre au moins un appui (14, 15) adapté pour s'appliquer respectivement sur une surface desdites dents adjacentes lorsque les bras sont en position étendue, et ledit bloc central contenant un mécanisme de réglage (19) agencé pour amener lesdits bras opposés dans ladite position étendue, et des moyens de verrouillage (20, 21, 22) dudit mécanisme de réglage, lorsque lesdits bras sont dans la position étendue. (...) le mécanisme de réglage comporte un dispositif anti-retour pouvant être pourvu d'au moins une roue dentée coopérant avec des cliquets. (...) le mécanisme de réglage comporte deux brides en forme de boucles ouvertes agencées pour entourer respectivement lesdites dents adjacentes et amener lesdits bras dans ladite position étendue. (...) lorsque le serrage est considéré comme suffisant, on bloque ledit dispositif dentaire en position avec une résine composite photo ou chemo polymérisable agencée pour verrouiller le mécanisme de réglage.

Pour consulter l'intégralité du dossier, rendez-vous sur le site de l'INPI muni du n° FR2937856

[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)

coup d'envoi est donné au milieu du mois d'octobre de la deuxième année de formation. Dans le *Livret d'accompagnement – Repères pour la formation et l'évaluation* (octobre 2003), il est stipulé que le volant d'heures de formation peut être utilisé ainsi :

Phase 1, conception détaillée produit et conception préliminaire des outillages : 7 semaines × 12 h = 84 h

Phase 2, conception détaillée des outillages de validation : environ 3 semaines × 10 h = 30 h

Phase 3, réalisation des outillages de validation et du prototype : 13 semaines × 8h = 104 h

C'est sur cette base de 218 heures que les étudiants de Morteau conduisent leur projet. Ce dernier est jalonné par trois revues de projet :

Revue de projet de conception préliminaire en interne dans l'établissement de formation

Revue de projet de conception détaillée (E6 1<sup>re</sup> partie)

Revue de projet de validation du prototype (E6 2<sup>de</sup> partie)

L'aventure commence en juin 2009 avec la proposition de la société Dynadent formulée auprès de la PFT. Cette requête cadre avec le BTS CIM, et plus particulièrement avec l'activité de projet de deuxième année. C'est M. Philippe Jeannerod, professeur de mécanique, qui prend en main cette étude afin de la présenter lors de la commission de validation des sujets. Le problème, c'est que, si à lui seul il peut certes faire l'objet d'une conception de produit avec les outillages de validation correspondants, le produit ne comporte pas de partie électronique. Il ne cadre donc pas avec ce qui se fait habituellement, et ne peut être considéré comme pluritechnologique. Il a donc été décidé en accord avec le collègue d'électronique de la section de concevoir un banc d'aide à la conception du bridge. Nous décrirons celui-ci un peu plus loin.

Le sujet ayant été approuvé par la commission, les professeurs ont réalisé un cahier des charges fonctionnel partiel comme point d'entrée du projet



confié aux étudiants. L'énoncé du thème a été formulé par l'équipe enseignante comme suit : « En se basant sur l'étude développée dans le brevet n° 0806030, il est demandé aux étudiants de développer une industrialisation du dispositif breveté en s'attachant plus particulièrement à la relation matériau-procédé. Il est attendu également l'instrumentation d'une mâchoire test pour mesurer la tension de l'appareil sur la dent voisine. » Le travail a été confié à trois étudiants, Guillaume Nicod, Quentin Boillot et Thomas Pawlak.

Lors d'une première revue de projet, M. Maadi a remis aux étudiants un dossier exprimant sa demande, les besoins, les contraintes et les indications thérapeutiques. À partir de ces données, du brevet et du cahier des charges partiel comportant entre autres le schéma de principe et les composants du banc d'aide à la conception, les étudiants ont pu démarrer leur travail.

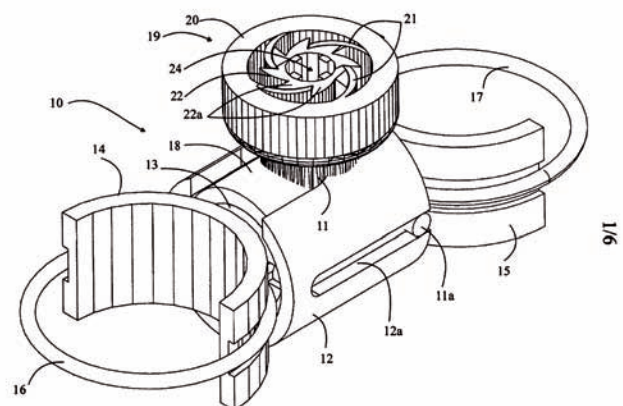
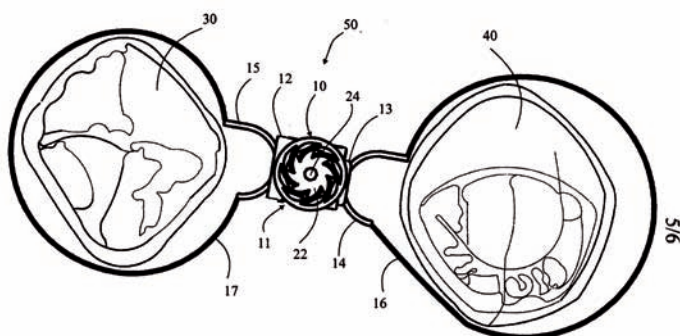
#### La conception détaillée du bridge autoréglable

À partir du brevet, les étudiants ont travaillé sur un ensemble de solutions permettant l'actionnement du système et ont retenu le principe de mise en tension par fil. Ce mécanisme permet un encombrement minimal. Ensuite, ils se sont penchés sur la réalisation des bras télescopiques, du corps central, de la molette d'actionnement et du mécanisme antiretour. Outre qu'elle ne nécessite pas de clé, l'originalité de la molette de réglage est qu'elle casse une fois le bon couple de serrage atteint. Cette partie relativement volumineuse est donc retirée par le chirurgien.

L'étude a débouché sur la réalisation de deux prototypes de bridge autoréglable, l'un baptisé « Thomas » et l'autre « Quentin », du nom de leurs concepteurs **3**. Ils ont été obtenus, après seulement deux semaines de conception, par prototypage rapide sur une machine dont le principe est la polymérisation de fines couches de



**5** L'outillage d'injection du corps assemblé (les dimensions du carré central sont de 3 mm x 3 mm)





6 Le stand Dynadent au salon Micronora, avec de gauche à droite : Abd al-Qadir Maadi, Philippe Jeannerod, Guillaume Nicod, Quentin Boillot, Thomas Pawlak, et Thierry Tripard

résine photosensible d'une épaisseur de 25 microns 4. C'est cette phase du projet qui a fortement contribué au succès de la conception du bridge, car une analyse pointue a pu être faite très tôt sur les deux ensembles réalisés. Elle a permis de retenir le système « Quentin », en mettant en avant ses avantages face à l'autre solution, qui souffrait, entre autres, d'un défaut de fiabilité important. Une autre séance de prototypage a été menée à la suite de la deuxième revue de projet, afin de prendre en considération les modifications proposées. Puis des ensembles ont été envoyés à M. Maadi pour que soient effectués des tests cliniques, qui ont débouché sur la validation finale du produit.

#### La réalisation du banc d'aide à la conception

Le principe du banc d'aide à la conception, proposé par l'équipe d'enseignants et réalisé par les étudiants, est d'effectuer une mesure d'effort pour déterminer la section de l'axe de rupture de la molette de réglage. L'axe doit rompre au moment où le système est correctement en place et dès que l'effort exercé sur les dents est compris entre 0,5 N et 2 N. Pour cela, le banc possède deux fausses dents, l'une mobile permettant de régler l'interstice, et l'autre fixe qui intègre un capteur de force. Le réglage de l'écart entre ces deux éléments s'effectue manuellement en agissant sur un système vis-écrou qui déplacera la fausse dent mobile. Ensuite, on vient mettre le bridge auto-réglable en place en accrochant le fil autour de la

fausse dent (petit ou grand périmètre) et autour du porte-capteur. Puis le système est mis en tension : on tourne la molette, qui déploie les deux bras, et on mesure l'effort nécessaire pour en casser l'axe.

#### LE POINT DE VUE DU CLIENT

Abd al-Qadir MAADI, gérant de la société Dynadent

#### « Une expérience à réitérer »

L'entreprise Dynadent a particulièrement apprécié l'engagement total et l'investissement personnel des étudiants dans ce projet. Outre les qualités indispensables à tout microtechnicien, les étudiants ont dû faire preuve à la fois de souplesse, d'opiniâtreté et d'ouverture d'esprit. En effet, notre projet comportait quantité de variantes et de sous-variantes qui ont dû être réalisées avant d'être testées sur des modèles en plâtre. Une fois la bonne variante retenue, des ajustements ont encore été rendus nécessaires pour améliorer la fonctionnalité du dispositif. Les étudiants ont accepté avec enthousiasme de se plier à cet exercice et ont sans cesse remis leur ouvrage sur le métier pour incorporer les modifications que sollicitait l'entreprise pour affiner sa solution. Les étudiants ont dû faire preuve également de curiosité et s'ouvrir à l'interdisciplinarité afin d'intégrer dans leur démarche les contraintes dictées par le champ médical. La clé de la réussite de ce projet a résidé dans le dialogue et l'échange fructueux entre l'école et l'entreprise, mais également entre les différents champs de savoirs. La société Dynadent salue le sérieux des élèves ainsi que le dynamisme et l'expertise de l'équipe enseignante. L'expérience fut pleinement concluante pour l'entreprise Dynadent, tant et si bien qu'elle a décidé de la réitérer à travers un nouveau projet.



### La conception et la réalisation des outillages de validation

La conception du bridge a été menée par les étudiants avec le souci constant de développer des pièces qui soient réalisables par injection dans un outillage de validation le plus simple possible. Des modifications de formes sur la pièce résultent d'une étude approfondie de sa position et de son orientation dans le moule. Notons que les logiciels de simulation d'injection (rhéologie), s'ils sont une aide pour optimiser les dimensions des pièces, ne sont pas forcément très adaptés dans le cas de pièces aussi petites.

Trois moules de validation ont été réalisés afin d'assembler une série de bridges « bonne matière » et « bon procédé ».

Les formes simples sur les outillages ont été réalisées par un fraisage traditionnel, utilisant une broche haute fréquence (27 000 tr/min) avec des fraises de diamètre inférieur à 1 mm. L'électroérosion à fil de diamètre 0,1 mm a également été employée pour des cavités ou des noyaux demandant une très grande précision.

Les formes complexes des outillages, comme la denture faciale, ont été obtenues par fonderie en cire perdue. Cette technique consiste à réaliser la pièce souhaitée, ici un tiroir du moule du corps, par prototypage rapide dans une résine thermofusible. Ensuite, cette pièce prototypée en résine est soudée sur un arbre en cire, lequel sera enrobé dans un cylindre de plâtre, et cuit selon un cycle particulier. Il en résulte après cuisson un corps en plâtre creux – puisque la cire et la résine thermofusible ont disparu –, dans lequel le métal en fusion sera coulé sous vide. Après destruction du plâtre, on obtient l'équivalent de la grappe originale, mais dans un matériau métallique. Il reste à « dégrapper » les pièces, et à effectuer quelques opérations de finition avant l'assemblage dans l'outillage **5**. L'intérêt de cette technique est double : elle permet d'obtenir des pièces d'une grande précision, et des formes complexes très rapidement.

Le corps et le bras ont pu être injectés et montés sur le bridge, et le fonctionnement du produit validé.

### Un trophée à la clé

La société Dynadent et la PFT ont partagé un stand au salon Micronora **6**, qui s'est tenu du 28 septembre au 1<sup>er</sup> octobre 2010 à Besançon (voir en encadré). L'objectif était de présenter le bridge autoréglable aux visiteurs et de le faire concourir aux Microns d'or dans la catégorie « appareils intégrant des composants micro-techniques ». MM. Maadi, Tripard (animateur de la PFT) et Jeannerod ont tenu le stand pendant toute la durée du salon. En pleine poursuite d'études post-BTS, nos trois étudiants ont souhaité participer au salon et présenter eux-mêmes le fruit de leur travail au public.



### ► Pour en savoir plus

Le dossier de presse rédigé par M. Jeannerod est téléchargeable sur le site du Cerpet :

[https://www.cerpet.adc.education.fr/filiere.asp?num\\_filiere=115](https://www.cerpet.adc.education.fr/filiere.asp?num_filiere=115)

Ils étaient donc présents le mardi 28 septembre, jour de l'inauguration et de la remise des trophées par M. Christian Estrosi, ministre de l'Industrie.

À 10 h 30, la cérémonie de remise des Microns d'or commence, et les lauréats sont révélés au public. Le bridge autoréglable est le gagnant de sa catégorie. M. Maadi reçoit des mains du ministre le trophée tant convoité. Voilà des étudiants, pas encore sur le marché du travail, et déjà récompensés pour leur activité professionnelle par un prix à résonance internationale ! L'après-midi, sur le stand très fréquenté de Dynadent/PFT, ils ont également pu faire valoir leur talent de communicants en satisfaisant la curiosité des nombreux visiteurs. La presse régionale s'est fait l'écho de leur succès. Pour *L'Est républicain*, « les microns d'or sont à Micronora ce que la Palme d'or est à la Croisette. Et parmi les six microns décernés [...], celui attribué à la société Dynadent n'est pas le moins sympathique ». *L'Alsace* d'ajouter : « Grâce à un bridge provisoire, la société alsacienne Dynadent simplifie un acte courant et coûteux du dentiste. » En effet, selon une première estimation faite par Dynadent, avec le bridge autoréglable, le coût de l'intervention passerait approximativement de 350 à 70 euros !

Plus généralement, on voit le bénéfice que chacun peut tirer de ce type de projets collaboratifs entre une entreprise, une plate-forme technologique et un établissement scolaire : l'entreprise trouve un partenaire pour le développement de son produit et des moyens techniques auxquels elle n'aurait pu prétendre sans cette collaboration, les enseignants profitent d'un sujet concret et motivant pour la formation de leurs étudiants, le tout grâce à la PFT, qui remplit ainsi parfaitement son rôle de structure de transfert de technologie et de lien entre les entreprises et les établissements publics d'enseignement. Quant aux étudiants, ils sont les acteurs d'un projet industriel réel, avec un vrai client (voir en encadré « Le point de vue du client ») ; leur responsabilité est entièrement engagée. Rien ne peut motiver davantage un jeune adulte à ce niveau de formation : pour la première fois de sa scolarité, la communauté éducative lui témoigne une entière confiance en lui laissant la voie libre, tout en balisant le parcours. C'est toute leur perception de la vie active qui en est définitivement transformée ; ils sont, avant l'heure, dans la peau de professionnels bénéficiant d'une grande autonomie et d'un sens aigu des responsabilités. ■