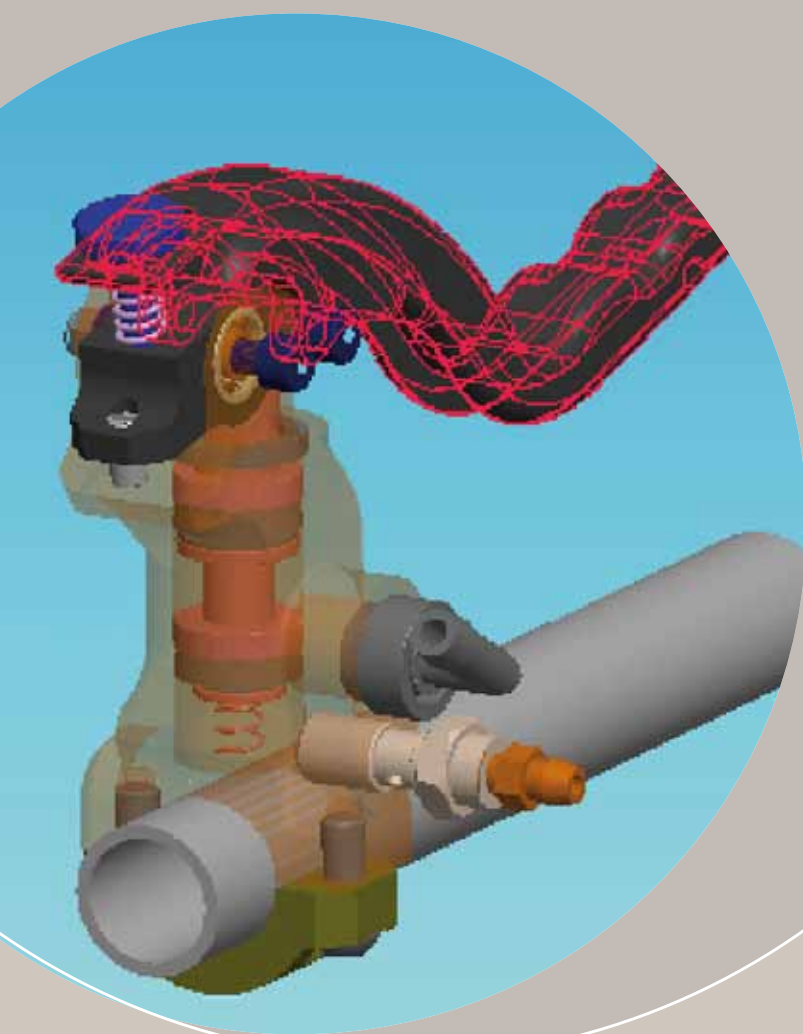


**DOSSIER  
PÉDAGOGIQUE**



→ → →  
L'usage des  
**modeleurs  
volumiques** dans  
l'enseignement de  
la **construction  
mécanique**

modeleur volumique - modèle numérique - enseignement de la construction - utilisation pédagogique - simulation mécanique - activité d'apprentissage





# L'usage des **modeleurs volumiques** dans l'enseignement de la **construction mécanique**

Dossier créé avec la collaboration de :  
**IUFM Midi Pyrénées – Université Toulouse II Le Mirail**

Didier LABELLE  
Pierre STEPHAN

Édition janvier 2012



<b>1. Introduction .....</b>	<b>6</b>
A. Qu'est-ce qu'un modeler volumique ? .....	6
B. Le modèle numérique, support de l'information technique.....	7
C. Les modelers volumiques utilisés dans l'enseignement de la construction.....	10
D. Le modèle numérique au cœur de la chaîne numérique.....	13
E. De la vision industrielle à une utilisation pédagogique.....	15
F. L'évolution des pratiques d'enseignement.....	16
<b>2. Les potentialités pédagogiques du modeler volumique pour l'enseignant de construction .....</b>	<b>19</b>
A. Identification des besoins de l'enseignant .....	19
B. La gestion des données techniques .....	24
C. Les options de visualisation.....	27
D. Les outils d'analyse.....	33
E. La définition fonctionnelle d'une pièce.....	47
F. Les outils de simulation mécanique. ....	53
<b>3. Méthodes et outils pour construire une activité d'apprentissage avec les modelers volumiques .....</b>	<b>69</b>
A. La nécessité de nouvelles pratiques liées à l'utilisation du modeler volumique.....	69
B. L'utilisation du modeler volumique dans des séquences d'enseignement.....	73
C. L'évaluation.....	94
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>98</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>100</b>

## → A. QU'EST-CE QU'UN MODELEUR VOLUMIQUE ?

« La **conception assistée par ordinateur** (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement - à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique - et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer. »  
 → Source : [www.wikipedia.fr](http://www.wikipedia.fr)

Cette définition des outils CAO, ou modeleurs volumiques, pourrait laisser place à une interprétation partielle. En effet, cette forme de communication technique utilise une multitude d'outils informatiques : ils permettent de représenter numériquement, avec une représentation réaliste du produit, les différentes étapes de conception précédemment effectuées sur support papier. On reconnaît par exemple plus facilement une boîte de vitesses sur la Fig. 0.1 sur laquelle on pourrait agir avec le modeleur volumique (tourner autour, aller voir à l'intérieur, l'animer...) que sur une représentation 2D sur papier.



Fig. 0.1. L'outil CAO 3D ou modeleur volumique (boîte de vitesses à variation continue)

Mais cette vision serait très partielle : les modeleurs volumiques permettent en effet, via l'outil informatique, de travailler sur un modèle appelé « maquette numérique » qui intègre toute l'information technique tout au long de la phase de conception et même tout au long du cycle de vie du produit.

« La **conception virtuelle** permet l'appréciation globale du comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace non réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé « maquette numérique » constitue alors un véritable prototype évolutif. »  
 → Source : [www.wikipedia.fr](http://www.wikipedia.fr)

Par exemple, le modèle volumique de la boîte de vitesses (Fig. 0.1) permet également de définir la géométrie des différentes pièces ainsi que leurs liaisons en s'appuyant sur des éléments standards issus d'une bibliothèque numérique (roulements, pignons...). Il permet également de définir la masse des pièces, leurs caractéristiques d'inertie, de vérifier que la cinématique souhaitée est bien obtenue, que les pièces fortement sollicitées résistent aux efforts... Et cela avant même que les premières pièces soient réalisées.

## → B. LE MODELE NUMERIQUE, SUPPORT DE L'INFORMATION TECHNIQUE

La communication technique dans les domaines industriels et en particulier celui du génie mécanique a longtemps été organisée autour du dessin technique ou dessin industriel. À la fin du XV<sup>e</sup> siècle, Léonard de Vinci invente le dessin technique. Les dessins de ses inventions sont en perspective et annotés avec un système de repérage et de dimensions pour une fabrication fiable. Pendant longtemps, le technicien ou l'ingénieur se contente d'une représentation des objets sous forme d'esquisses ou de croquis à main levée (Fig. 0.2).

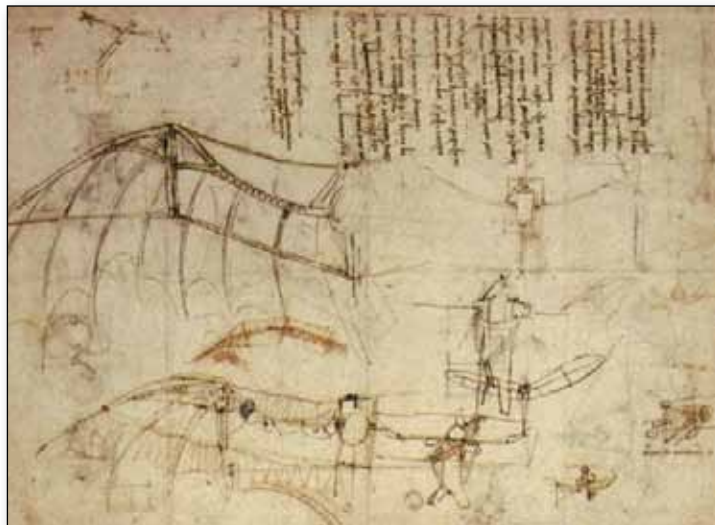


Fig. 0.2. Représentation d'une machine volante par Léonard de Vinci

→ Source : [www.kasciope.org](http://www.kasciope.org)

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, avec la multiplication des brevets d'invention accompagnant le développement industriel, la nécessité d'un langage universel conduit à la définition d'un langage technique de représentation commun défini par Gaspard Monge et basé sur les principes de la géométrie descriptive. L'idée forte du dessin technique est la suppression arbitraire d'une dimension, ce qui permet de faire apparaître en vraie grandeur les deux autres. Du coup, au moins deux vues différentes seront nécessaires pour prétendre tenir l'ensemble des caractéristiques géométriques de l'objet représenté. Cette représentation s'appuie sur des règles conventionnelles qui font l'objet de normes officielles et qui concernent l'organisation de la feuille, le cartouche (zone d'information destinée à l'archivage du document), les traits, le texte et l'organisation des vues (Fig. 0.3).

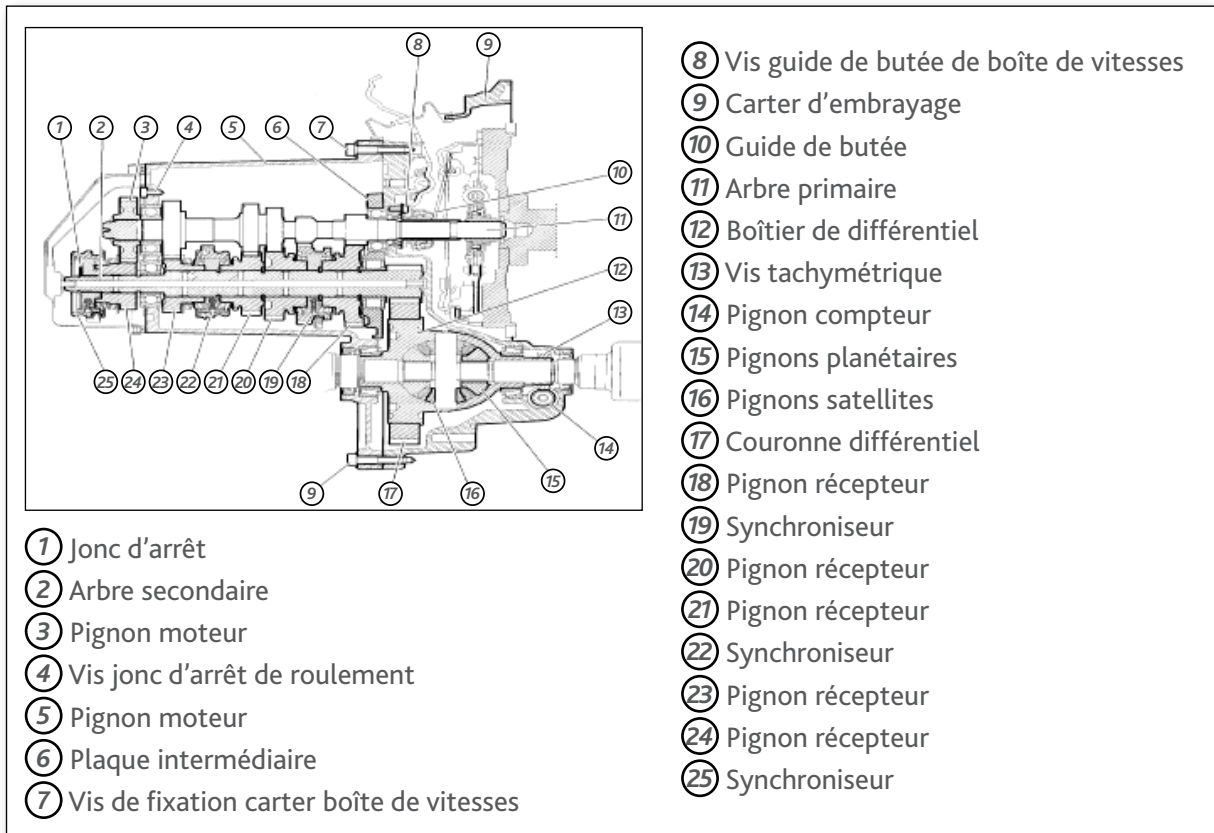


Fig. 0.3. Dessin technique avec nomenclature

→ Source : [www.educauto.fr](http://www.educauto.fr)

Le domaine de la mécanique est historiquement l'un des premiers à s'être doté, dans les années 1960, de logiciels de dessin assisté par ordinateur (DAO) reprenant en partie les démarches de représentation du dessin technique. Ces outils ont rapidement évolué et nous avons assisté, avec l'augmentation des capacités de calcul et de stockage des systèmes informatiques, à l'incorporation progressive, autour des modèles géométriques, de connaissances non géométriques toujours plus nombreuses. On parle alors « d'outil associatif paramétrique et variationnel ». Associatif, car il est utilisé dans toutes les phases d'élaboration du produit (cahier des charges, conception préliminaire, conception détaillée, industrialisation, maintenance...); paramétrique, car les entités géométriques sont définies par des paramètres dimensionnels ou fonctionnels pouvant être modifiés à tout moment lors de la conception et pouvant être conservés dans un historique de construction; variationnel, car une modification de paramètres correspondant à une fonction technique interagit sur d'autres paramètres.

Aujourd'hui, pratiquement toutes les entreprises du secteur mécanique utilisent les outils CAO dans la gestion (création et/ou utilisation) de leurs données techniques aussi bien dans les grandes entreprises que dans des entreprises de taille plus modeste. Parallèlement, les outils de communication, avec l'arrivée de l'information numérisée, ont très largement accompagné cette évolution. Ils permettent alors une communication entre des personnes de formations différentes, de cultures différentes avec des champs d'application bien plus vastes. Il est bien évident que les représentations sur papier (représentations 2D) constituaient un frein sérieux pour permettre à l'ensemble des acteurs de l'entreprise de communiquer sur un produit, que ce soit dans sa phase de conception ou dans sa phase de maintenance, car cette représentation utilisait des codes de représentation accessibles aux seuls spécialistes (Fig. 0.4). Ce verrou est à présent levé et l'image permet de s'affranchir de ces codes réservés initialement à des initiés. Pour preuve, l'évolution des revues techniques automobiles dans lesquelles on ne trouve quasiment plus de représentation 2D.



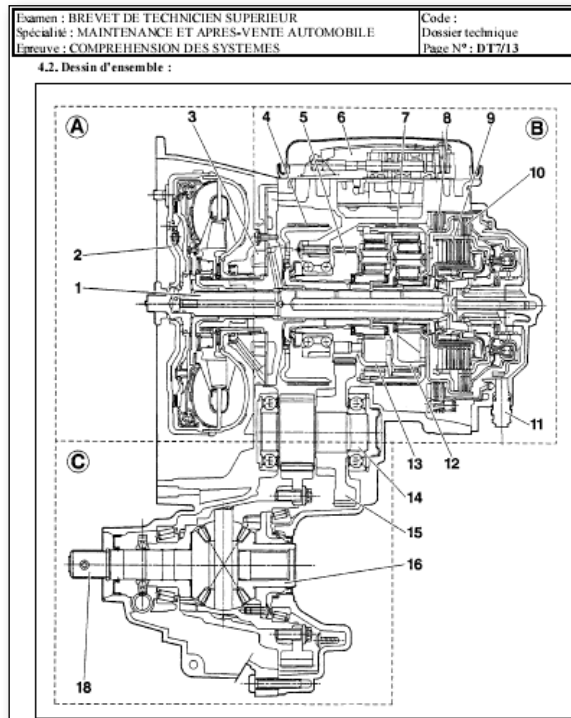


Fig. 0.4. Représentation 2D d'un système mécanique (d'une boîte à vitesses)

→ Source : [www.educauto.fr](http://www.educauto.fr)

Enfin, la visualisation des produits, via des logiciels gratuits associés à chaque logiciel de CAO ou en format PDF, est non seulement utile au sein de l'entreprise, mais également dans la relation avec le client ou le partenaire. La Fig. 0.5 obtenue à partir du lien donné en dessous illustre comment un document Pdf3D accessible par tous (à la seule condition de disposer d'une version récente et gratuite d'Acrobat®) permet ici de comprendre le démontage d'un système de freinage à disque. Pour le formateur de maintenance des véhicules automobiles, ce type de documents ouvre donc des champs d'investigation pédagogique nombreux et riches.



Fig. 0.5. Démontage du frein à disque BD-13 (document Pdf3d animé)

→ Source : [http://tetra4d.s3.amazonaws.com/live\\_files/examples/Brake\\_Disassembly\\_Field\\_Service.pdf](http://tetra4d.s3.amazonaws.com/live_files/examples/Brake_Disassembly_Field_Service.pdf)

## → C. LES MODELEURS VOLUMIQUES UTILISES DANS L'ENSEIGNEMENT DE LA CONSTRUCTION

La place des outils de représentation dans l'enseignement des Sciences et Techniques Industrielles est associée au triptyque : pédagogie / industrie / technique de représentation. En se limitant à l'analyse de la civilisation industrielle de la 2<sup>e</sup> moitié du XX<sup>e</sup> siècle, on peut constater une relative stabilité jusqu'à la fin des années 80 où la pédagogie se limitait à l'apprentissage des codes du dessin technique industriel, en adéquation avec les deux autres branches de notre triptyque. En effet, ce n'est pas l'arrivée des stylos à encre, des pantographes sur les tables à dessin, ou des premières photocopieuses, qui a révolutionné le tracé. Et l'on peut rappeler que l'avion « *Concorde* » a été entièrement dessiné à la main, à l'échelle 1, lors de sa conception !

La grande révolution va arriver dans les années 80, en relation avec d'autres bouleversements :

- le développement de l'informatique,
- l'évolution socio-technico-économique de la société :
  - réduction des durées de développement,
  - augmentation de la sous-traitance, voire de la délocalisation, entraînant une communication plus importante et des échanges plus fréquents et plus distants,
  - évolution des matériaux et des procédés,
  - complexification des systèmes : passage des mécanismes aux systèmes automatisés,
  - intégration de compétences diverses dans les équipes de projets (par exemple la prépondérance accordée au designer dans la conception de produits grand public).

Il faut remarquer que, dans cette première phase, le milieu industriel, qui en matière d'outils de représentation était relativement uniforme, va évoluer de manière totalement différente en fonction de son environnement mais surtout en fonction de ses moyens financiers, aussi bien en termes d'équipement que de formation, car les coûts engendrés par l'acquisition des outils CAO sont très importants. Par ailleurs, le développement de l'informatique va générer des outils de représentation entièrement nouveaux.

Le premier qui va être introduit pédagogiquement est un outil de représentation 2D pour lequel le dessinateur industriel se trouve uniquement en présence d'une table à dessin numérique. La difficulté de l'enseignant concerne uniquement l'appropriation de l'outil informatique et n'occasionne aucune remise en cause de la pratique pédagogique liée à la représentation.

Cependant, ce nouvel outil a entraîné une problématique totalement nouvelle liée au choix du logiciel associé, tant les incidences sont nombreuses :

- économiques : le coût des premières stations de travail informatiques paraît aujourd'hui complètement démesuré (supérieur à celui d'une voiture de tourisme),
- humaines : la formation des enseignants est nécessaire dans le cadre de la formation continue, puisque aucun n'a eu de formation initiale dans ce domaine,
- technico-pédagogiques : le transfert, le stockage, les échanges, et la pérennité des données doivent être organisés.

Les réponses institutionnelles ont dès lors été très diverses, aussi bien géographiquement que dans le temps. Plusieurs constatations peuvent être faites :

- les premières directives nationales imposaient l'utilisation d'outils en français. Les principaux outils industriels étant essentiellement américains, le marché était alors très restreint et quelques outils développés conjointement dans le milieu scolaire et industriel, comme *DMT* ou *Genèse*, ont vu le jour.
- l'encadrement pédagogique a été, au niveau national, très divers. Dans certaines académies, au milieu des années 80, un choix a été fait autour d'un logiciel avec un équipement homogène financé par la région pour chaque établissement. Un groupe de réflexion pédagogique a été créé, chargé de produire des supports pédagogiques distribués dans chaque établissement.
- L'évolution nationale a eu très vite des effets sur les choix régionaux avec l'introduction massive d'*Autocad* et de *CadKey* (pourtant encore en version anglaise).

Le deuxième tournant technico-pédagogique, pourtant plus discret, est celui de l'évolution des outils informatiques périphériques vers l'outil de représentation (outils de fabrication, outils de calcul, outils de simulation et de dimensionnement). Cette évolution va permettre de mettre en lumière la mutation de ces outils, que l'on retrouve dans le concept de « chaîne numérique ».

Parmi les logiciels les plus utilisés, on trouve alors : *Autocad* pour la représentation, *Mécaplan* pour la simulation, *RdM-LeMans* pour le dimensionnement, *EFICN* pour la fabrication.

Ces outils et surtout cette utilisation cohérente de CFAO, vont trouver un écho auprès des PME et permettre de renouer le lien avec ces dernières, surtout dans le cadre des formations en BTS et des Bac Pro nouvellement créés. En effet, au travers des stages ou des projets réalisés par les étudiants, les bureaux d'études dans les PME comprennent vite l'intérêt de tels outils en particulier pour les liens entre les différentes phases de conception et de fabrication de leurs produits.

Enfin le véritable changement arrive à la fin du siècle avec l'arrivée du modelleur 3D. Cette évolution technique va créer une nouvelle fracture, puisqu'elle va avoir un impact pédagogique essentiel : c'est l'objet de ce dossier. Quelques remarques permettent de mieux comprendre l'arrivée de ces outils CAO dans l'enseignement :

- Les besoins en 3D se manifestent d'abord dans les domaines où les surfaces gauches deviennent prépondérantes, par exemple : l'aéronautique, la carrosserie des voitures, les produits manufacturés où le design est prépondérant (électroménager, ski...).
- Les premiers logiciels développés dans les années 80, sont, compte tenu de leur complexité, incompatibles avec la micro-informatique naissante. Ces premiers outils, tels *CADDS4X*, *CatiaV4*, ne sont compatibles qu'avec les stations de la mini-informatique. L'investissement matériel est à nouveau considérable, de nouvelles compétences informatiques associées (ingénieur système) sont nécessaires ; les formations à l'outil sont très lourdes financièrement et très longues.
- Ces premiers outils, qui techniquement sont des extensions d'outils 2D, ont été solidement implantés dans les grandes entreprises notamment avec des développements CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) relativement lourds. Ce qui fait qu'aujourd'hui encore, ces outils sont majoritairement utilisés dans de grands secteurs de l'industrie comme l'aérospatiale et l'industrie automobile (L'Airbus A380, à part le mât réacteur, a été conçu avec *CatiaV4* et *CADDS*. Seul l'A350 est actuellement conçu avec *CatiaV5* qui n'a rien à voir avec son homonyme).
- En 1988, PTC (société fondée en 1985) lance *Pro Engineer* qui est le premier logiciel CAO prenant en charge une modélisation solide paramétrique, associative et orientée fonction. Le concept est celui repris et développé, à quelques variantes près, par tous les logiciels actuels du marché. C'est également celui qui est défini officiellement par l'Éducation Nationale notamment en classes de BTS CPI (Conception de produits industriels) (page 48 du référentiel).
- Au milieu des années 90, une version micro-informatique a été développée. Les évolutions des systèmes d'exploitation de la micro-informatique (multifenêtrage, menus iconiques, périphériques, visualisations...) sont alors immédiatement intégrées dans ces logiciels, ce qui conduit à en faire des outils d'approche facile.

L'intégration pédagogique a donc été et continue d'être très diverse. Suivant le niveau d'enseignement, on trouve des logiciels plus ou moins performants, la performance étant souvent liée à la complexité et donc à une prise en main moins aisée. En école d'ingénieurs ou dans les formations universitaires, parmi les logiciels les plus utilisés, on peut citer *CATIA* et *Pro Engineer*. En pré-bac, les logiciels utilisés sont plus divers suivant les académies et même au sein des établissements d'une même académie. Le choix varie également suivant les filières concernées. Parmi les plus utilisés, on peut citer *Solidworks*, *Inventor*, *Top solid* ou *Solidedge*.

On peut souligner l'évolution de l'intérêt que portent les éditeurs de logiciel vis-à-vis de l'enseignement au travers des diverses offres commerciales. La dernière proposition gratuite de PTC (Parametric technology corporation) pour tous les niveaux, du collège à l'université, en est certainement le meilleur exemple.

→ *Remarque : les deux logiciels utilisés et mentionnés dans ce dossier sont Pro Engineer (nouvellement dénommé Creo) qui est un produit PTC et SolidWorks qui est un produit Dassault Systems.*

## → D. LE MODELE NUMERIQUE AU CŒUR DE LA CHAÎNE NUMERIQUE

Un communiqué de presse daté du mois de mars 2011, à propos de l'acquisition d'un nouveau logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), relate ces propos de **Steve Baker, spécialiste PLM\*** chez **Aston Martin Racing** :

« Pour parvenir à une efficacité optimale, nous avons besoin d'un système PLM exhaustif et unique, capable de prendre en charge l'intégralité de la conception, des toutes premières phases de développement produit à la fabrication ».

Cette phrase illustre l'évolution profonde de ces dernières années liée à l'arrivée des nouveaux produits CAO dans le milieu industriel et en particulier dans le secteur automobile avec l'impératif de la réduction des délais de développement pour en limiter les coûts. En effet, les modeleurs volumiques permettent au travers de la maquette virtuelle évolutive du produit de faire travailler toutes les composantes de la chaîne de conception sur un même support numérisé. Cette maquette numérique porteuse de toutes les informations liées au produit est donc au cœur de ce que l'on appelle la chaîne numérique, permettant une simultanéité des différentes phases d'élaboration d'un produit et la prise en compte dès le processus de conception des contraintes de fabrication, d'industrialisation, de maintenance et de recyclage. La vision globale de ces informations techniques peut être résumée par la représentation de la Fig. 0.6 : elle est communément utilisée dans la plupart des référentiels. La notion de chaîne numérique prend tout son sens si on lui associe la vision mécanique de transmission de puissance, où une chaîne est un lien fermé constitué de maillons d'égale importance, ce qui permet tout d'abord de sortir de la vision archaïque du développement linéaire et hiérarchisé d'un produit.

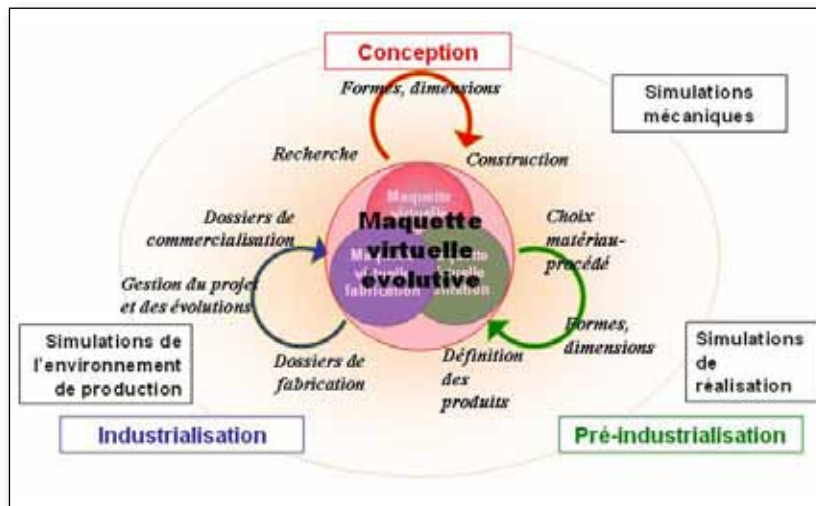


Fig. 0.6. La maquette numérique au cœur du cycle de vie du produit (D. Taraud)

→ Source : Séminaire de didactique des disciplines technologiques Cachan 1999-2000 (ENS CACHAN - INRP)

(\*) : Définition du PLM : Le PLM est un logiciel conçu pour améliorer le fonctionnement des processus associés aux nomenclatures produit, qui constituent le cœur même de l'information des entreprises de fabrication car elles représentent le savoir-faire de conception, de fabrication et de support des produits. Plus particulièrement, le logiciel PLM permet aux fabricants d'optimiser la gestion et l'évolution d'une nomenclature pendant tout le cycle de vie d'un produit, depuis sa conception jusqu'à son retrait.

# 1 — [ INTRODUCTION ]

Même si l'activité de maintenance n'apparaît pas explicitement sur la figure, la maquette numérique peut servir de support pour la maintenance comme le montre l'article « Les notices techniques s'animent grâce à la CAO » paru en septembre 2006 dans « L'usine nouvelle » et qui explique que « même si les outils CAO rendent la scénarisation (des activités de maintenance) plus intuitive, leur adoption sera affaire de formation et d'évolution culturelle ». (Fig. 0.7)

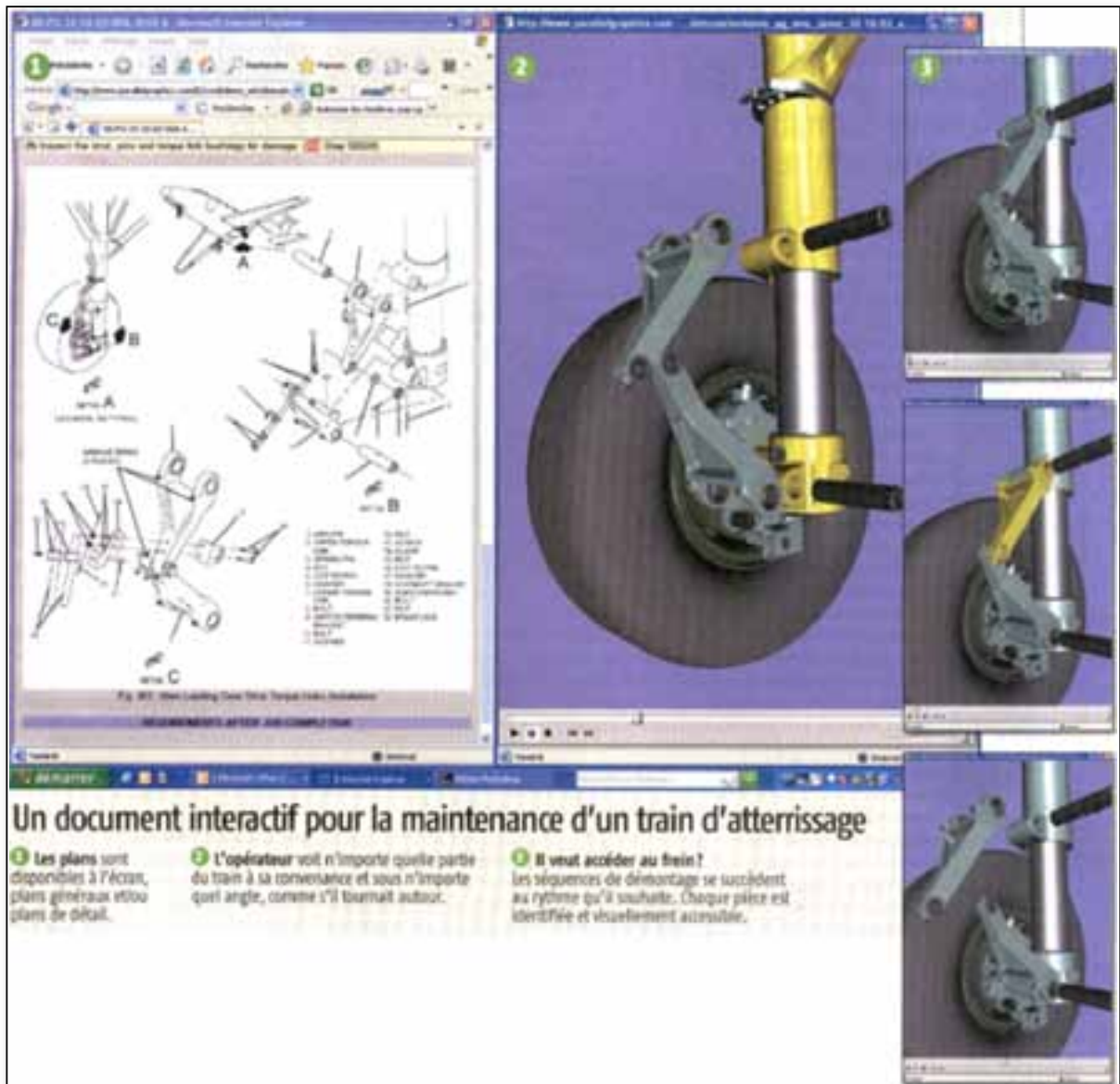


Fig. 0.7. Les outils CAO au service de la maintenance

→ Source : « Les notices techniques s'animent grâce à la CAO », *L'usine nouvelle*, septembre 2006.



## → E. DE LA VISION INDUSTRIELLE A UNE UTILISATION PEDAGOGIQUE

Pour illustrer l'évolution des outils de communication technique et leur impact sur nos pratiques d'enseignants, revenons à une comparaison entre les anciens codes de représentation et le modelleur volumique.

Le modèle numérique d'un assemblage est souvent assimilé, surtout pour les inconditionnels du dessin industriel, au dessin d'ensemble. Même s'il permet d'obtenir automatiquement la mise en plan, il va bien au-delà de ce seul aspect de représentation. On peut dans un premier temps souligner deux différences évidentes et essentielles entre l'ancienne représentation du système (le dessin d'ensemble) et le modèle volumique :

- Toutes les informations contenues dans un dessin d'ensemble ne sont identifiables que par les experts de la représentation 2D qui maîtrisent parfaitement les codes de représentation. La représentation réaliste du modèle numérique permet comme nous l'avons souligné de s'affranchir de la connaissance des codes de représentation du 2D.
- Le modèle numérique contient a minima toutes les données portées par un dessin d'ensemble mais il intègre le plus souvent beaucoup plus d'informations techniques relatives au système étudié. Seul le technicien, au fait des données portées par un document technique, saura utiliser les fonctionnalités logicielles donnant accès à toutes les informations qu'il contient. Il y a donc une correspondance forte et importante entre les connaissances techniques d'un produit et les fonctionnalités du modelleur volumique. L'enseignant ne peut ignorer cette relation et toute action d'apprentissage sur la découverte des fonctionnalités d'un modelleur n'aura de sens que si elle reste associée à **l'identification de données techniques clairement identifiées**.

D'autre part, l'organisation globale de ces logiciels permet à l'utilisateur, quel que soit son domaine d'intervention, de l'ingénieur en conception à l'opérateur de maintenance, de se retrouver dans un environnement numérique similaire. **L'élève qui utilise lors de sa formation professionnelle ces mêmes outils logiciels devra donc en avoir une perception identique facilitant alors son insertion professionnelle.**

La définition du PML donnée précédemment montre la place importante que tient la gestion des données numériques dans le développement d'un produit. Cet aspect est identifiable Fig. 0.4 dans le diagramme associé à la chaîne numérique sous le vocable : « Gestion du projet et des évolutions ». Sans être un spécialiste de l'organisation de ces outils, on peut faire quelques analogies par rapport à nos applications pédagogiques.

- Du point de vue informatique, la gestion des données numériques associée à l'utilisation du modelleur devra s'apparenter davantage à celle d'une organisation réseau, où les droits de l'utilisateur (enseignant, élève, parent, ...) ne sont pas les mêmes que ceux de l'administrateur. La manipulation des données diffère également de l'utilisation personnelle domestique.
- Les outils PLM sont en partie conçus pour éviter que n'importe qui puisse faire n'importe quoi : même si la source est la même, le commercial n'aura pas les mêmes droits et les mêmes possibilités que le responsable des calculs de prédimensionnement ou que celui de la réalisation du dossier de définition d'une version indicée du produit. L'utilisation libre (indépendamment des outils de gestion de données) du modelleur par l'enseignant devra le contraindre à quelques précautions d'utilisation et/ou à quelques interrogations associées à la mise en situation de l'étude conduite. Par exemple : suis-je en train d'analyser le sous-ensemble de la voiture que je vais démonter tout à l'heure ou suis-je en train de simuler l'étude mécanique conduite lors de la conception de ce mécanisme ?

Si, dans la chaîne numérique, ces étapes ont lieu à des moments totalement différents et donc correspondent à des états numériques de la maquette évolutive différents, l'enseignant devra parallèlement **veiller à ce que l'activité et les données fournies aux élèves soient cohérentes et correspondent à une démarche industrielle**. Il faut certainement éviter de laisser croire à un élève qu'il peut à volonté modifier la forme et/ou les dimensions d'une pièce qu'il aurait du mal à démonter !

Ces précautions d'utilisation sont très souvent relativement évidentes et aussi faciles à mettre en œuvre : c'est ce que nous détaillerons par la suite.

## → F. L'ÉVOLUTION DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT

Cette évolution forte des pratiques professionnelles liées à l'utilisation des modelers volumiques dans le milieu industriel a été prise en compte dans l'ensemble des formations de sciences et techniques industrielles notamment par le biais des nouveaux programmes, des référentiels d'enseignement et des guides d'équipement et sous l'impulsion de l'inspection pédagogique par le biais des offres de formation continue dans les différentes académies.

Le fascicule « *Repères pour la formation Bac Pro MVA* » de février 2002 rappelle les objectifs des enseignements de construction mécanique :

- « être l'outil de compréhension des systèmes, afin de mener la démarche de diagnostic la plus pertinente,
- être une base de culture de la technologie mécanique, afin de permettre à l'élève d'évoluer avec les innovations techniques. »


Pour y répondre, les savoirs abordés sont répertoriés en trois chapitres qui s'articulent autour de la démarche de compréhension du fonctionnement d'un système : analyse fonctionnelle et structurelle, représentation d'un élément et/ou d'un mécanisme, comportement des systèmes mécaniques.

La lecture des recommandations formulées dans le référentiel et/ou dans le guide « *Repères pour la formation* » fait apparaître deux grandes évolutions de l'enseignement de construction (Fig. 0.8). La première concerne les approches inductives (avec des outils d'accompagnement comme la notion de centre d'intérêt) qui ont fait l'objet de nombreuses actions de formation continue. La deuxième grande évolution concerne l'utilisation des modelers volumiques avec une place omniprésente dans toutes les phases d'apprentissage comme l'indiquent les paragraphes du guide dans le chapitre « *Stratégie de formation et d'exploitation du référentiel en construction mécanique* » (Fig. 0.8). Le modeler volumique devient clairement le support de l'information technique. Il n'est pas simplement à la disposition de l'enseignant pour aider à visualiser un fonctionnement via un diaporama par exemple ou pour éditer des images en vue de l'élaboration d'un document élève. Il est un support de travail pour les élèves qui **agissent sur le modèle numérique** et qui, au travers de ces activités, construisent le nouveau savoir.

Ainsi, l'arrivée des outils CAO dans les établissements de formation a constitué une vraie révolution des pratiques des enseignants. Malgré une relative réticence du corps enseignant, leur utilisation a permis d'asseoir les réformes mises en place à la fin des années 80 (au départ dans les classes de 2<sup>nd</sup>e TSA - Technologie des systèmes automatisés) relatives à l'analyse descendante. En effet, l'enseignant de construction était auparavant contraint d'organiser sa progression pédagogique en fonction de la découverte et de la maîtrise des codes de représentation par les élèves.

À présent, les modelers volumiques lui permettent de respecter cette approche descendante en partant du système technique dans toute sa complexité et surtout de situer structurellement la zone d'étude. Il n'est en effet pas plus difficile d'aborder l'utilisation d'un modeler par la représentation d'un ensemble que par celle d'une pièce. Plus rien n'interdit alors de placer l'élève en tout début de cycle d'apprentissage face à une maquette numérique représentant un système complexe sur lequel l'enseignant va le conduire à agir pour centrer l'apprentissage sur un aspect spécifique.





**Baccalauréat  
professionnel**

**MAINTENANCE  
DES VÉHICULES  
AUTOMOBILES**

OPTION : VÉHICULES PARTICULIERS  
OPTION : VÉHICULES INDUSTRIELS  
OPTIONS : MOTOCYCLES

REPÈRES POUR LA  
FORMATION

**L'analyse :**

**Les outils d'analyse, les démarches associées et les compétences requises sont des éléments qui fondent le diagnostic**

La représentation par les modèles numériques est une aide précieuse à la compréhension de

**La représentation par les modèles numériques est une aide précieuse...**

La simulation des mouvements possibles, simplement mise en œuvre sur l'écran mais difficilement réalisable sur le réel (systèmes complexes) complète avantageusement les explications du professeur.

**La représentation :**

Indispensable à la démarche d'analyse, elle est le moyen de communication du technicien dans les phases d'analyse (lecture – décodage) et de transmission ou d'échanges d'informations (représentation).  
Complémentaire aux apprentissages traités en BEP elle s'appuiera sur des supports issus

**La nature des nouveaux supports de représentation induit des compétences nouvelles et démarches d'apprentissage innovantes à développer**

nouvelles et des démarches d'apprentissages innovantes à développer.  
L'association interactive du modèle numérique et de sa représentation 3D, la fonctionnalité des

**L'association 3D-2D aide fortement à la compréhension de l'organisation des géométries et structures constitutives d'un élément**

**L'étude des comportements mécaniques :**

Participant de l'analyse et complémentaire de l'analyse fonctionnelle, les données et résultats de l'étude des comportements justifient les solutions existantes et aident à la compréhension des phénomènes.

**La mise en place de TP auxquels est associée la simulation informatique sont des aides précieuses qui permettent de construire les compétences attendues**

sont des aides précieuses qui permettent de construire les compétences attendues.

Fig. 0.8. Extrait de « Repère pour la formation Bac Pro MVA », février 2002.

Ces nouvelles approches pédagogiques liées à l'utilisation des modeleurs volumiques s'accompagnent de profondes évolutions. Elles imposent d'abord l'apparition de savoirs nouveaux, soit liés à une utilisation raisonnée et technique des principes d'organisation des modeleurs, soit à des savoir-faire consécutifs à cette utilisation (notion de croquis à main levée). Elles imposent également la disparition de savoirs anciens notamment liés à l'écriture de la représentation 2D. Mais quel que soit l'intérêt de la gymnastique intellectuelle du décodage d'un dessin d'ensemble, il est légitime de s'interroger sur sa pertinence, de la même façon que nous pourrions le faire si on proposait aux élèves de décoder des hiéroglyphes !

Enfin, ces évolutions concernent également et sans doute principalement les démarches d'enseignement, car l'apprentissage s'effectue à présent en partie à travers l'action de l'élève sur le modèle numérique. Il est donc nécessaire pour l'enseignant de définir correctement cette action et de s'interroger sur ce qu'il met à disposition des élèves, sur l'organisation de son modèle numérique, sur le questionnement proposé, pour favoriser l'apprentissage, sachant que si le modeleur volumique est un outil professionnel incontournable, il peut constituer également un outil pédagogique très performant.

L'objectif de ce dossier technique est bien d'aider l'enseignant de construction en filière maintenance des systèmes automobiles à mettre en place avec ses élèves les nouvelles approches pédagogiques liées à l'utilisation des modeleurs volumiques.

La première partie de ce dossier présente précisément les potentialités des modeleurs volumiques nécessaires à l'enseignant de construction mécanique pour élaborer et mettre en œuvre une activité pédagogique dans les filières de maintenance des véhicules automobiles. Cette présentation des fonctionnalités du modeleur volumique s'effectue au travers de l'exemple industriel d'une poignée de frein de moto.

La deuxième partie est centrée sur l'utilisation pédagogique du modeleur volumique. Dans un premier temps, les changements de pratiques nécessaires pour l'enseignant sont mis en évidence. Puis, différentes séquences d'enseignement sont proposées, mettant en avant la place et la pertinence de l'utilisation du modeleur volumique par les élèves. Cette présentation débouche sur des conditions d'utilisation des outils CAO par l'enseignant devant permettre de faciliter aussi bien l'élaboration de l'activité que sa mise en œuvre avec les élèves. Enfin, un dernier chapitre est consacré à l'organisation et à l'évaluation d'une activité avec le modeleur volumique.

### → A. IDENTIFICATION DES BESOINS DE L'ENSEIGNANT

L'objet de cette partie est de mettre en évidence les fonctionnalités du modelleur volumique nécessaires à un enseignant de construction exerçant en filière maintenance des véhicules.

Une des évolutions essentielles du métier d'enseignant de construction liées à l'arrivée des modelleurs volumiques est son positionnement par rapport à ce nouvel outil. Auparavant, l'enseignant maîtrisait complètement les codes de représentation du dessin technique. Actuellement il ne peut maîtriser totalement les fonctionnalités de l'outil CAO étant donnée sa complexité.

→ *Remarque : cette maîtrise était dommageable dans la mesure où l'enseignant de construction pouvait avoir le mauvais réflexe de centrer son apprentissage sur le décodage du dessin 2D plutôt que sur les notions techniques fondamentales. Dans les établissements techniques, le professeur de construction était souvent nommé professeur de dessin industriel !*

L'arrivée des modelleurs volumiques met l'enseignant dans une posture bien différente. Il s'appuie à présent sur un nouvel outil de communication dont la maîtrise complète est illusoire. L'avantage de ce nouveau positionnement est la nécessité pour le professeur de construction de se centrer sur les notions fondamentales de la discipline (les problèmes de décodage du dessin 2D étant supprimés). Une grande partie des savoirs à enseigner s'appuie sur l'utilisation du modelleur volumique, ce qui nous conduit à définir le plus justement possible ce que l'enseignant doit au minimum connaître sur l'outil pour proposer un enseignement de qualité.

Nous allons voir que les connaissances sur l'outil modelleur sont alors relativement limitées et que l'élaboration d'une séance d'enseignement s'appuyant sur le modelleur volumique ne demande pas une connaissance poussée de l'outil.

La mise en évidence des fonctionnalités du modelleur volumique est proposée à partir de l'exemple industriel d'une poignée de frein de moto produite par la société BERINGER® (Fig. 1.1). Elle va nous permettre d'illustrer cette notion de chaîne numérique et son diagramme associé (Fig. 0.6 et 1.1) en cherchant à préciser comment l'enseignant, dans l'activité pédagogique qu'il propose en particulier dans le domaine de la maintenance automobile, peut rester en phase de manière assez simple avec cette vision industrielle.

Nous nous situons délibérément dans le cas caractéristique d'une activité de maintenance où l'objectif du professeur de construction consiste à étudier et analyser un mécanisme existant afin de « *permettre à l'élève d'agir en compréhension lors de son activité professionnelle* ». (Fig. 0.8 : *Repère pour la formation – Bac Pro MVA – Février 2002*)

Dans ce cas habituel de l'étude d'un mécanisme existant, le modèle numérique correspond à un état figé (c'est-à-dire qu'il ne permet plus une évolution de ses paramètres géométriques et fonctionnels) en parfaite concordance avec le réel. Les seules étapes de la chaîne numérique que l'on sera amené à parcourir sont représentées ci-dessous (Fig. 1.1) :

- l'analyse des formes et dimensions (on se situe ici dans une phase d'étude de construction et non de conception) permet d'analyser structurellement ce mécanisme,
- les simulations mécaniques permettent de vérifier les performances et éventuellement de justifier les choix du constructeur.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

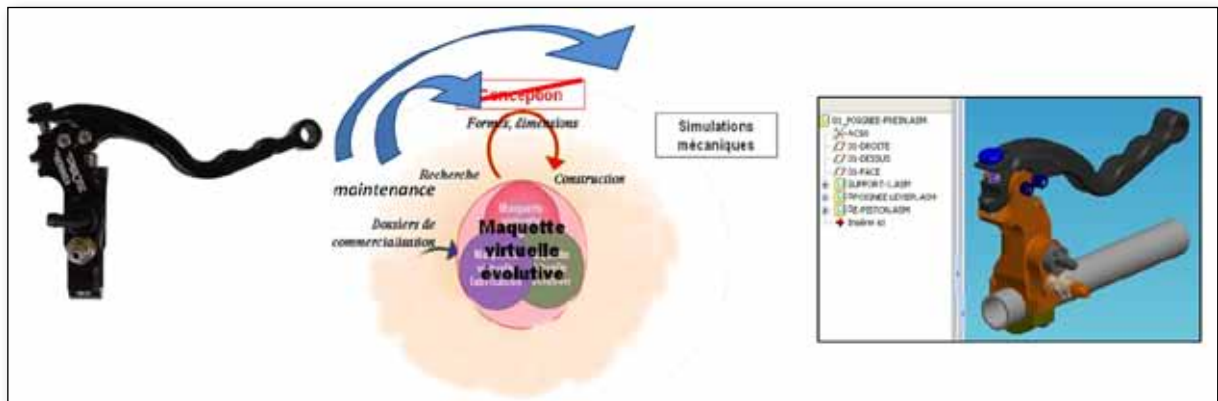


Fig. 1.1. Illustration des domaines d'utilisation de la maquette virtuelle pour l'enseignant de construction en MVA

Nous allons analyser les différentes étapes que l'on serait amené à réaliser pour être en mesure de mener cette étude technique. Comme pour n'importe quel document technique, l'étude d'un document numérisé est conditionnée par la succession de **3 tâches** :

- **Accéder** à ces données numériques (ce qui est traité dans le chapitre 1 « La gestion des données techniques »)

→ *Remarque : cette activité ne fait pas l'objet de savoirs associés en construction mécanique dans les référentiels de maintenance des véhicules. Elle concerne pourtant, même indirectement, le domaine de la maintenance où le technicien doit dans un premier temps accéder à un catalogue pour répertorier les pièces à changer et leurs caractéristiques. Elle fait d'ailleurs partie du référentiel des activités professionnelles : « Effectuer un diagnostic : collecter, analyser, interpréter, traiter toutes les informations techniques nécessaires à l'intervention ».*

- **Voir** (ce qui est traité dans le chapitre 2 « Les options de visualisation »). Il pourra ici être intéressant d'aborder la relation entre ces différentes options et les règles du 2D.

→ *Remarque : cette deuxième étape est abordée au travers des savoirs associés dans le centre d'intérêt « Représentation d'un élément et/ou d'un mécanisme » du CAP MVA (Fig. 1.2).*

SAVOIR S 1.2 LECTURE DE LA REPRÉSENTATION D'UN ÉLÉMENT ET/OU D'UN MÉCANISME				
		Niveaux		
Connaissances	Limites de connaissances	1	2	3
<b>S1.2.1 / Lecture</b>				
<b>Décodage, identification des surfaces et des volumes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification et désignation des formes géométriques des surfaces et volumes constitutifs d'une pièce</li> <li>• Vocabulaire technique associé aux formes (arbre, épaulement, alésage...)</li> </ul>	À partir d'un modèle 3D ou de produits réels en relation avec le champ professionnel de la maintenance des véhicules			
<b>Lecture de représentations normalisées</b> Sur une mise en plan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informations fournies</li> <li>• Codage des différents traits</li> <li>• Différentes vues : association d'une même surface dans les vues</li> <li>• Décodage des cotes et spécifications géométriques liées aux surfaces</li> </ul>	Sur un schéma et à l'aide de la norme : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification de liaisons</li> <li>• Identification de composants hydrauliques, pneumatiques et électriques</li> </ul>			
<b>Lecture de documents techniques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecture et utilisation de tous types de documents techniques utilisées dans le cadre de la maintenance des véhicules.</li> </ul>	À partir de diverses modes de représentation, numérisées ou non, qui peuvent être utilisées en communication technique ou en maintenance.			
<b>Décodage de sous-ensembles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repérage des pièces constitutives d'un sous-ensemble</li> </ul>	À partir d'un modèle 3D ou de produits réels en relation avec le champ professionnel de la maintenance des véhicules			
<b>Décodage de sous-ensembles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description d'une solution constitutive</li> </ul>				
<b>S1.2.2 / Représentation</b>				
<b>Croquis d'une pièce</b>	À main levée			
		Information	Expression	Maîtrise d'outils

Fig. 1.2. Extraits des « Savoirs à aborder » référentiel CAP MVA

- **Analyser** les données en relation avec l'objet technique de l'étude (ce qui est traité dans le chapitre 3 « Les outils d'analyse ») : organisation de l'assemblage, mobilités, performances, conditions fonctionnelles, masse, etc.

→ *Remarque : cette troisième étape concerne principalement l'ensemble des savoirs abordés dans la partie du référentiel « Analyse structurelle et fonctionnelle » en CAP comme en Bac Pro (Fig. 1.3).*

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

<b>S1</b>	<b>CONSTRUCTION</b>	S1-1 ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE S1-2 REPRÉSENTATION D'UN ÉLÉMENT ET/OU D'UN MECANISME S1-3 COMPORTEMENT DES SYSTÈMES MÉCANIQUES
<b>S1</b>	<b>GÉNIE ÉLECTRIQUE ET AUTOMATIQUE</b>	S2-1 FONCTIONS LIÉES AU TRAITEMENT DE L'INFORMATION S2-2 SYSTÈMES AUTOMATISÉS
<b>S3</b>	<b>FONCTIONS TECHNIQUES</b>	S3-1 MOTORISATION S3-2 TRANSMISSION - <i>PROPULSION DES BATEAUX DE PLAISANCE*</i> S3-3 LIAISON AU SOL S3-4 FREINAGE S3-5 PRODUCTION ET UTILISATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE S3-6 PRODUCTION ET UTILISATION DES ÉNERGIES AUXILIAIRES S3-7 CONFORT, AIDE À LA CONDUITE ET À LA NAVIGATION*, SÉCURITÉ
<b>S4</b>	<b>FONCTIONS DE L'ACTIVITÉ DE SERVICE</b>	S4-1 COMMUNICATION, COMMERCIALISATION S4-2 ORGANISATION DE LA MAINTENANCE S4-3 QUALITÉ S4-4 PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS S4-5 <i>MANUTENSION DES BATEAUX DE PLAISANCE*</i> S4-6 <i>LÉGISLATION MARITIME*</i>

Fig. 1.3. « Les savoirs associés » dans le référentiel Bac Pro MVA

Ces trois tâches à la base de toute activité d'analyse d'un document numérisé peuvent être complétées par **deux autres champs** d'application importants dans l'utilisation des modeleurs volumiques et relatifs à des parties fondamentales des référentiels et programmes d'enseignement de génie mécanique :

- **Définir** fonctionnellement une pièce.

→ *Remarque : cette activité concerne essentiellement le technicien de bureau d'études. Cependant, il est demandé à l'élève de Bac Pro MVA (Maintenance des Véhicules Automobiles) de savoir définir une pièce en suivant une démarche fonctionnelle cohérente (Fig. 1.4). Ce savoir doit aider l'élève de maintenance pour l'analyse fonctionnelle d'une pièce.*

SAVOIR S 1.1 ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE					
Le contenu est relatif à la maîtrise d'une méthodologie de pose et de résolution de problème : assembler, organiser, les éléments d'un sujet, identifier les relations, raisonner à partir de ces relations, décider en vue d'un but à atteindre. <i>Il s'agit de maîtriser une démarche : induire, déduire, expérimenter, se documenter.</i>		<div style="text-align: center;">MAÎTRISE MÉTHODOLOGIQUE</div> <div style="text-align: center;">MAÎTRISE D'OUTILS</div> <div style="text-align: center;">EXPRESSION</div> <div style="text-align: center;">INFORMATION</div>			
Le contenu est relatif à la <b>maîtrise de procédés et d'outils d'étude et d'acquisition</b> : utiliser, manipuler des règles ou des ensembles de règles (algorithme), des principes, en vue d'un résultat à atteindre. <i>Il s'agit de maîtriser un savoir faire.</i>					
Le contenu est relatif à l' <b>acquisition de moyens d'expression et de communication</b> : définir, utiliser les termes composant la discipline. <i>Il s'agit de maîtriser un savoir.</i>					
Le contenu est relatif à l' <b>appréhension d'une vue d'ensemble d'un sujet</b> ; les réalités sont montrées sous certains aspects, de manière partielle ou globale.					
		Niveaux			
Connaissances	Limites de connaissances	1	2	3	4
<b>S1.1.3 / Analyse d'un élément</b>					
<b>Analyse des surfaces fonctionnelles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Relation d'une pièce au système - graphe de liaison</li> <li>Surfaces influentes d'une pièce pour une ou des fonctions techniques</li> <li>Spécifications fonctionnelles</li> </ul>	Système en relation avec le champ professionnel de la maintenance de véhicule automobile.  Jeux, ajustements, indications diverses.				
<b>Lecture des spécifications géométriques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spécifications dimensionnelles et de situations relatives</li> </ul>					

Fig. 1.4. Savoirs associés à la représentation dans le référentiel Bac pro MVA

- **Simuler et analyser** le comportement d'un système.

→ *Remarque : l'étude des comportements des systèmes mécaniques recouvre une partie importante du programme d'enseignement de construction en maintenance des véhicules automobiles (Fig. 1.3) incluant la mécanique du solide indéformable (cinématique, statique, dynamique) et la mécanique du solide déformable (résistance des matériaux). L'utilisation du modelleur volumique permet de mettre en évidence les liens entre le résultat des simulations et les choix technologiques adoptés. Pour l'enseignant de construction, il permet de décloisonner le cours de mécanique et le cours de technologie.*

Pour chacune de ces cinq parties, l'accent ne sera pas mis sur les fonctionnalités de tel ou tel logiciel ou sur certaines commandes permettant de procéder plus rapidement, mais sur la pertinence de l'outil modelleur lorsque l'on aborde une étude technique. Pour l'enseignant ou plus généralement le formateur, le modelleur volumique apparaît alors comme un outil pédagogique d'une grande richesse ouvrant des champs d'investigation importants.

## → B. LA GESTION DES DONNÉES TECHNIQUES

Même si l'utilisation de l'outil informatique est devenue une activité banale, surtout pour les jeunes, l'utilisation d'un outil professionnel comme le modeleur requiert quelques précautions d'usage. Ces précautions, érigées ci-après comme règles, sont le fruit d'une double approche :

- elles sont pour la plupart la transposition pédagogique de règles communément admises dans le milieu industriel où la gestion des données est assurée par des outils spécifiques (PLM, SGDT...). Les perturbations possibles liées à l'utilisation autonome du modeleur doivent être compensées par la maîtrise de cette gestion.
- Elles résultent de notre expérience et elles visent à éviter aux futurs utilisateurs nombre de désagréments que nous avons pu connaître.

### Règle 1

Éviter au maximum l'utilisation de l'explorateur dans la gestion des fichiers (on peut limiter cette utilisation à la seule copie de répertoires entiers dans lesquels on trouve l'ensemble des pièces et des assemblages d'un même système).

Ne jamais renommer un fichier avec l'aide de l'explorateur.

Utiliser au maximum les fonctions de gestion de fichiers du modeleur (copier, copier sous, sauvegarder, renommer, effacer, détruire...)

→ *Raison :* *un modèle numérique (en particulier celui d'un assemblage) est constitué de plusieurs fichiers (pièces, sous-ensembles, mises en plan, éléments de calcul, ...) comportant des liens ou associés (ce type de modeleur sera dit « associatif »). Seul le modeleur est capable de traiter correctement ces liens lors de toute modification.*

### Règle 2

Ne jamais ouvrir un fichier CAO à partir de l'explorateur (en double-cliquant par exemple sur le nom de ce fichier). Toujours démarrer le logiciel en premier.

→ *Raison(s) :* *plusieurs versions d'un même logiciel de CAO peuvent être installées sur un même poste informatique. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de choisir le logiciel et/ou la version retenue.*

*Tous les logiciels de CAO disposent d'une possibilité de sélection par type de document (assemblage / pièce / ...). Ils disposent également d'outils de prévisualisation. La connaissance de ces différents types en fonction de l'objectif de l'étude font partie des compétences élèves : l'utilisation judicieuse de ces options du modeleur permettra d'asseoir ces compétences et/ou de valider leur acquisition.*

*C'est enfin un moyen de sensibiliser les élèves à cet aspect de la gestion des fichiers, jugé essentiel par tous les industriels, en leur rappelant que ce type d'outil ne s'utilise pas comme n'importe quelle application domestique.*

### Règle 3

Disposer tous les fichiers associés à un même dossier dans un même répertoire, qui sera alors identifié comme répertoire de travail.

→ *Raison :* *c'est ce que font par défaut la plupart des logiciels de CAO lors des opérations de sauvegarde (sauver sous, sauvegarder). Cela évitera à l'enseignant par exemple de rechercher des fichiers de pièces appartenant à un même assemblage dans différents répertoires.*

*Toutes les opérations éventuelles sur les fichiers (ouverture, sauvegarde, copie...) seront proposées par défaut dans ce répertoire.*

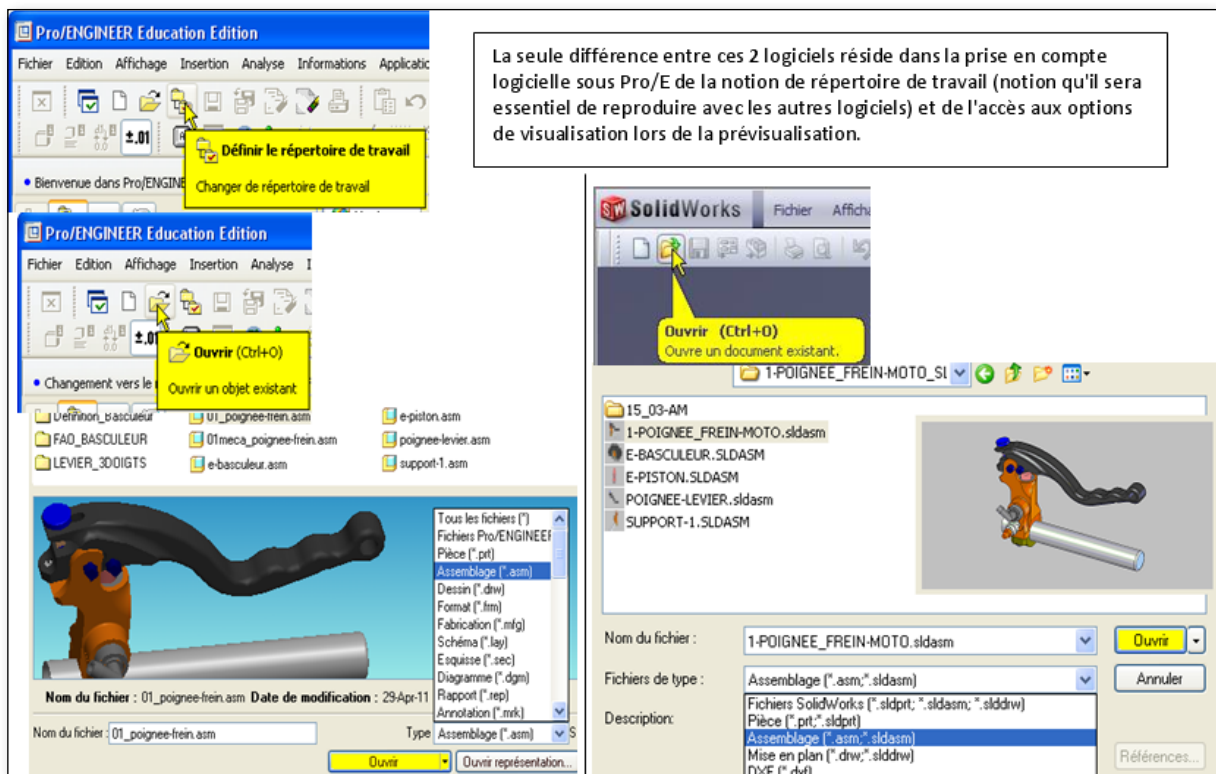


## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

### Règle 4

Donner aux différents fichiers des noms techniques significatifs. N'utiliser que les caractères de base du code ASCII (pas d'accents, pas d'espaces...).

→ Raison : *l'analyse technique en sera facilitée. On pourra récupérer ces noms dans une nomenclature automatique. Le classement étant réalisé par ordre alphabétique, en utilisant des préfixes on peut faciliter la recherche (par exemple, utiliser un chiffre comme préfixe du nom de l'assemblage général qui apparaîtra ainsi en premier. Ce chiffre peut être associé à une version indiquée.*



Ouverture d'un fichier sous Pro Engineer

Ouverture d'un fichier sous Solidworks

Fig. 1.5. Démarche d'ouverture d'un fichier

**Exemple :** l'utilisateur qui souhaite utiliser les données de la poignée de frein, doit :

- avoir démarré le logiciel avec lequel il a prévu de travailler,
- connaître :
  - l'emplacement (répertoire) des fichiers qu'il compte utiliser,
  - le type de document qu'il désire utiliser (principalement : assemblage / pièce / mise en plan)
  - le nom du document.

Il sera alors amené, quel que soit le logiciel, à réaliser successivement les tâches associées à ces exigences (voir exemple comparatif de 2 logiciels SolidWorks et Pro Engineer : Fig. 1.5).

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

---

La transposition de cette gestion des données techniques numériques avec celle du dessin industriel semble peu évidente à qui n'a eu accès qu'à une documentation très partielle d'un dossier technique. L'utilisation pertinente et la gestion d'une liasse complète d'un dossier papier relevaient pourtant d'une complexité au moins équivalente avec la mise en application de règles tout aussi contraignantes, par exemple lors de la modification d'un composant.

→ *Remarque : attention, l'état de représentation dans lequel apparaît le modèle peut dépendre, avec certains logiciels (SolidWorks en particulier), de la configuration dans laquelle il a été sauvé. Cela imposera donc une règle supplémentaire à respecter dans la gestion des fichiers.*

### Règle 5

Sauver les différents fichiers dans un état de représentation qui permet de reconnaître la pièce ou l'assemblage dans l'outil de prévisualisation (Fig. 1.5).

## → C. LES OPTIONS DE VISUALISATION

Les options de visualisation sont utilisées de manière récurrente et constituent une particularité majeure de l'utilisation du modelleur. Leur maîtrise technique sera essentielle aussi bien pour l'expert, soucieux de l'efficacité de son travail, que pour le débutant pour lequel elles pourraient constituer un obstacle initial préjudiciable. La place que nous accordons ici à la présentation de ces options pourrait paraître disproportionnée. Pourtant, il est essentiel pour l'enseignant d'y porter une attention particulière pour **plusieurs raisons** :

- **Une utilisation raisonnée des outils de visualisation**

En effet, la maîtrise technique des commandes logicielles ne pose plus de problème majeur surtout pour les jeunes familiarisés à l'utilisation de l'outil informatique (et détenteurs du Brevet Informatique et Internet B2I). Pourtant, les options de visualisation vont constituer la première singularité du modelleur par rapport aux autres outils informatiques communément utilisés (Publication assistée par ordinateur (PAO), jeux vidéos...), puisqu'elles vont permettre d'aborder la relation modèle/réel et la représentation du réel, qui sont au cœur de notre métier. Ainsi, il est important de souligner que la maîtrise des options de visualisation n'est jamais une fin en soi. Elle ne doit donc pas être l'objet d'un savoir spécifique et elle est toujours associée à un objectif technique particulier : le plus souvent pour l'enseignant de construction en classe de maintenance des véhicules automobiles dans le but d'analyser technologiquement un mécanisme (Cf. chapitre suivant).

→ *Remarque : on regarde un tableau ou une photo (ou leur image numérique), on ne regarde pas un modèle numérique pour lui-même (pas plus qu'un texte ou un schéma) !*

Les options de visualisation, présentées et regroupées dans ce chapitre, ne sont abordées avec les élèves que lorsque leur utilisation est judicieuse : on ne va pas voir une vue en coupe si on ne sait pas quelle est la finalité de cette représentation (recherche d'information ou mesure d'une grandeur par exemple).

- **Une liberté de choix de l'option de visualisation par l'élève avec des conséquences sur la maquette numérique mise à disposition**

La différence essentielle entre représentations 2D et 3D ne se limite pas à l'image de cette représentation. Le fait que la représentation soit en couleur et en perspective ne me permet pas de mieux voir le système étudié. La différence essentielle vient du fait que l'élève peut agir sur le modèle numérique et choisir son mode de visualisation en fonction du besoin. La réponse n'est pas unique et tous les élèves ne vont pas forcément choisir la même option de visualisation pour identifier une donnée.

Tous les référentiels de formation associent la représentation 3D à l'utilisation en autonomie par les élèves du modelleur volumique. La maîtrise des fonctions logicielles des options de visualisation par l'élève n'est donc destinée qu'à lui donner la plénitude de cette autonomie dans le choix de la visualisation qui lui convient le mieux. Cette autonomie de visualisation impose alors une nouvelle contrainte (ou règle). Contrairement à la représentation 2D du dessin industriel où le lecteur ne peut voir que ce que l'auteur a bien voulu représenter et suivant ses choix de représentation, l'usage du modelleur permet de voir (et donc d'analyser) l'intégralité du contenu **ce qui signifie que toutes les données portées par un modèle numérique sont obligatoirement techniquement correctes.**

- **Une différenciation pour l'utilisateur du modelleur entre voir et agir**

L'utilisateur du modelleur est constamment amené à effectuer conjointement ces deux tâches fondamentalement différentes. La différence, tant du point de vue conceptuel que dans la maîtrise des outils informatiques (identification des actions sur la souris, organisation spécifique des zones des menus iconiques), est essentielle et l'enseignant doit s'assurer en permanence qu'il n'y a pas de confusion par les élèves. Par exemple :

- voir une vue en coupe est différent d'enlever de la matière,
- voir un éclaté est différent de faire ou de simuler un démontage,
- faire un zoom ne modifie pas les dimensions...

Cette distinction vision/action est alors transposable dans d'autres domaines caractéristiques du savoir technologique, par exemple la différence entre mesurer une dimension et définir une cote (cf. chapitre 3.1.2).

L'enseignant doit alors être attentif à sa formulation ou à celles utilisées par les logiciels pour décrire les premières tâches réalisées car l'élève ne possède pas alors le vocabulaire technique : lors des premières activités avec le modèleur, l'emploi des termes «tourner», «déplacer», «translater», etc. qui sont caractéristiques de son cours de cinématique peut entraîner des confusions chez les élèves.

Nous essayons par la suite, chaque fois que possible, de présenter pour chaque fonction les relations modèle/réel et modèle/codes de représentation du dessin industriel.

### → a. Le choix du point de vue

Dès l'ouverture d'un document numérique, l'utilisateur va être amené à choisir et modifier à volonté son point de vue : on visualise de la même façon à l'écran cette poignée de frein, la moto entière ou un Airbus A380.

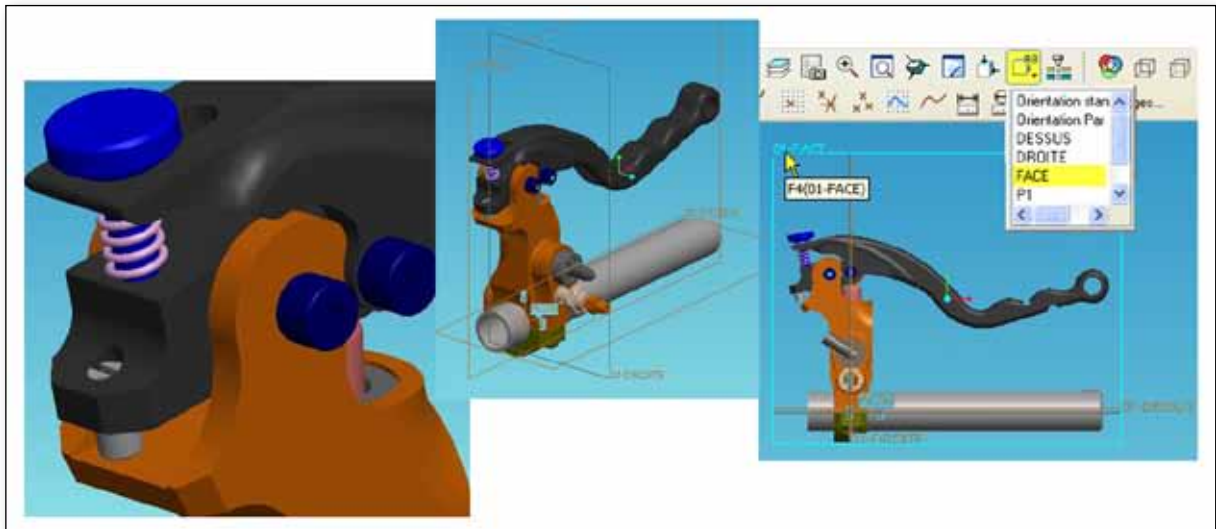


Fig. 1.6. Représentations de la poignée de frein – zoom et vue de face

Comme nous l'avons souligné, il est important pour l'enseignant d'être vigilant quant au vocabulaire choisi. Par exemple sur la Fig. 1.6, le passage de la vue centrale (état d'affichage initial) aux autres vues pourrait spontanément être traduit par le verbe «grossir» pour l'image de gauche et «tourner» pour l'image de droite.

Pourtant, le terme «zoomer», emprunté à l'optique, permet de clairement distinguer la première action de celle vue ultérieurement du changement de dimensions (et que traduirait le verbe «grossir»).

Pour la deuxième action permettant de passer à l'image de droite, on s'appuie sur la définition des vues obtenues dans la représentation orthographique (GDI : norme ISO 5456) : « *obtenue en dessinant dans le plan de projection, chaque vue suivant la direction et le sens d'observation choisi...* ». Le verbe «tourner» sera, lui, utilisé un peu plus tard en cinématique pour traduire le mouvement d'un solide par rapport à une référence.

Par ailleurs, en faisant l'analogie avec le réel, on pourra vérifier qu'il n'y a aucun mouvement par rapport aux éléments de référence (ici les plans et/ou le repère qui vont constituer très vite une caractéristique essentielle du modèle numérique et que l'on peut associer aux murs de la salle ou à un présentoir). On peut ici utiliser judicieusement l'option d'ombrage que proposent certains logiciels, avec la même analogie avec le réel.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

Le choix du point de vue peut ainsi être l'occasion pour l'enseignant d'aborder les codes de représentation du 2D. Ainsi, ces codes ne sont pas un préalable à l'utilisation du modèleur, mais au contraire on perçoit immédiatement que l'on peut utiliser de manière pertinente la représentation 3D pour participer à l'acquisition de ce savoir, toujours présent dans les référentiels, lié aux règles du 2D.

→ *Remarque : pour que l'analogie avec les codes de représentation 2D soit pertinente, il faut que la représentation du modèle soit organisée en conséquence en définissant par exemple correctement la vue de face sur la maquette comme cela était fait sur la représentation plane (à savoir la vue qui donne le plus d'information sur le système).*

Fonction logicielle	Relation / réel	Relation / codes de représentation du dessin industriel
<b>Analogie :</b> l'opérateur adapte son point de vue en fonction de son objectif (vision globale / détail, ...)	<b>Analogie :</b> l'opérateur adapte son point de vue en fonction de son objectif (vision globale / détail, ...)	<b>Analogie :</b> existence de vues préférentielles identiques

### → b. Le choix du mode de représentation globale (filaire, ombré, ...)

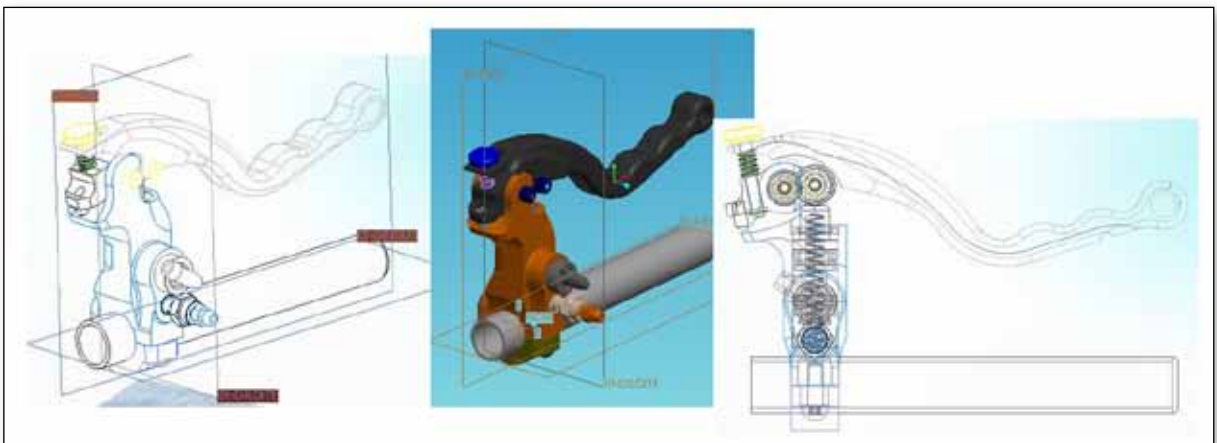


Fig. 1.7. Représentations en filaire de la poignée de frein

C'est ici que les relations modèle/réel et modèle/codes de représentation du 2D résumées dans le tableau suivant sont peut être les plus explicites. On se démarque ici clairement de la photo, la représentation est associée à un objectif technique : par exemple rechercher à l'intérieur du mécanisme des éléments permettant de comprendre le fonctionnement.

On peut également montrer que les couleurs, modifiables à volonté, sont ou pas associées au réel et peuvent, comme c'est le cas ici, être associées à un autre objectif comme l'identification des différentes pièces.

L'analyse ou la réalisation même très partielle d'une mise en plan, permettent de voir la relation avec les codes du 2D (Fig. 1.8).

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

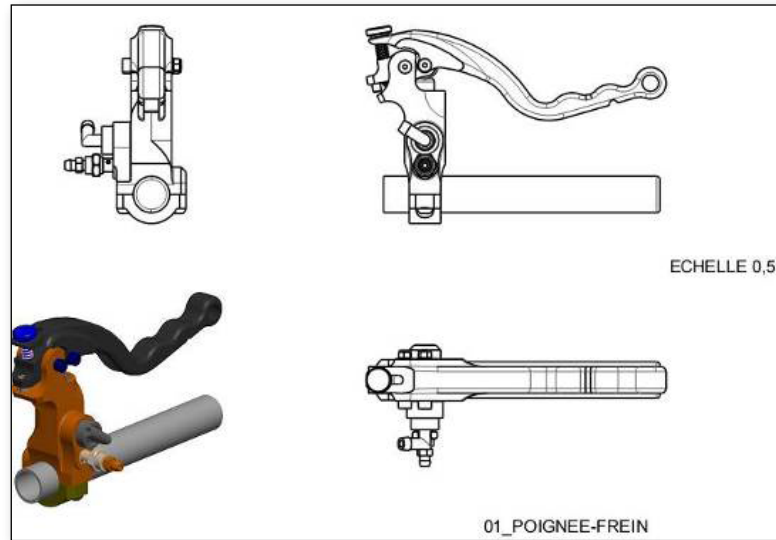


Fig. 1.8. Mise en plan de la poignée de frein

Fonction logicielle	Relation / réel	Relation / codes de représentation du dessin industriel
Choix du mode global de représentation	<b>Différence :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• changement d'état de représentation impossible sur le réel,</li> <li>• utilisation à volonté des couleurs : état réaliste ou non.</li> </ul>	<b>Analogie :</b> avec les codes de représentation 2D

### → c. Choix du mode d'affichage de certains composants : montrer / cacher, transparent, ...

La pertinence du choix du mode d'affichage (montrer, cacher, rendre transparent), que l'on pourra combiner à souhait, est d'autant plus évidente qu'elle est associée à un objectif précis. Et c'est l'occasion de vérifier ici, par la non-analogie avec le réel, qu'il n'y a pas de confusion : cacher un composant, ce n'est pas l'enlever !

Si cela n'a pas encore été fait, l'enseignant doit aborder ici obligatoirement la relation entre la représentation graphique et l'arbre de construction du modèle : c'est en effet le seul moyen de réafficher un composant caché (Fig. 1.9).

Fonction logicielle	Relation / réel	Relation / codes de représentation du dessin industriel
Choix du mode partiel de représentation	<b>Différence :</b> cacher ≠ enlever un composant	<b>Analogie :</b> avec les codes de représentation 2D (représentation partielle, ...). On trouve ici une relation directe avec l'arbre de construction (nomenclature pour le 2D)



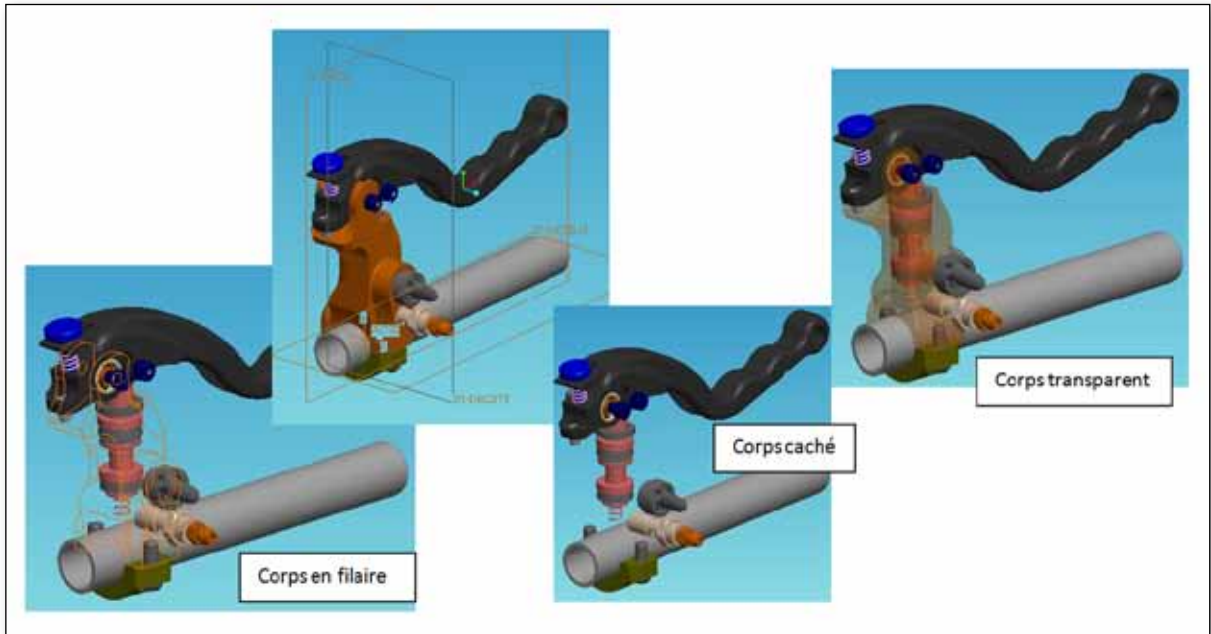


Fig. 1.9. Représentations de la poignée de frein avec le corps en mode filaire, caché, ou transparent

### → d. La vue en coupe : sélectionner / définir une vue en coupe

Le lien de cette option avec les codes de la représentation 2D apparaît immédiatement, car la vue en coupe est une des vues les plus utilisées en représentation plane. Cependant son utilisation ne sera pertinente, par rapport aux autres options de visualisation vues précédemment, que si elle est justifiée du point de vue technique. Par exemple ici, la vue en coupe n'est pas nécessaire si l'on souhaite visualiser le réglage de l'angle entre la poignée et le guidon. Par contre, si l'on souhaite connaître la position du piston dans le corps pendant le freinage, la vue en coupe s'avère indispensable (Fig. 1.10).

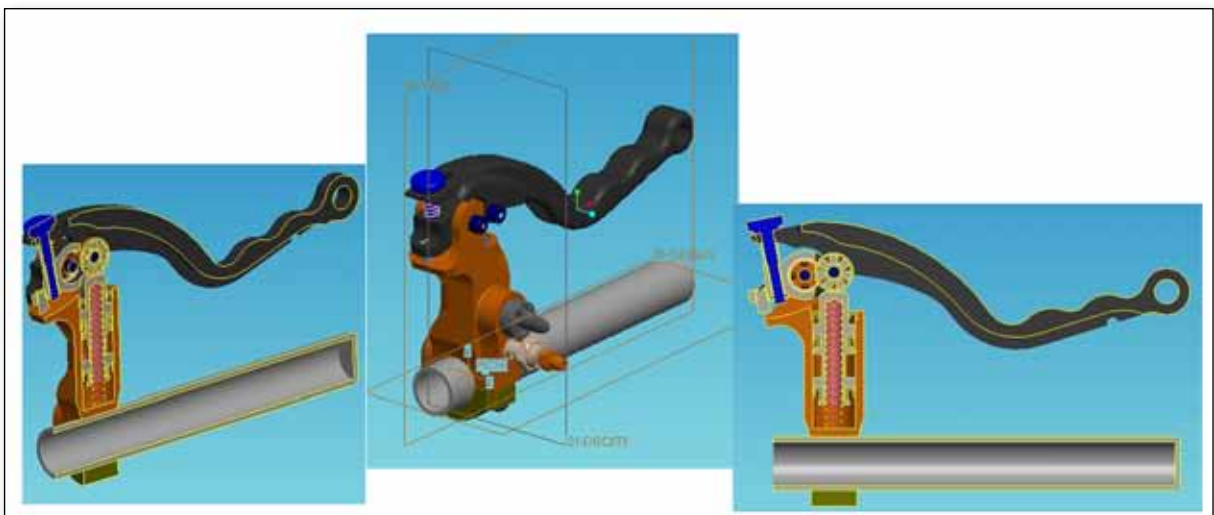


Fig. 1.10. Représentations de la poignée de frein en coupe

→ Remarque : on retrouve ici le même intérêt de la vue en coupe que sur les représentations 2D, avec cependant deux différences essentielles. Sur le modèleur volumique, c'est l'élève qui, en regard d'une information technique à rechercher, prend l'initiative de visualiser le système en coupe. La deuxième différence est que le modèleur volumique permet de visualiser très facilement la vue dans n'importe quel plan de coupe.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

Fonction logicielle	Relation / réel	Relation / codes de représentation du dessin industriel
Vue en coupe	<b>Différence :</b> voir en coupe ≠ enlever de la matière. On peut par exemple vérifier que la masse du mécanisme reste inchangée que l'on soit en vue extérieure ou en coupe.	<b>Analogie :</b> avec les codes de représentation 2D : les vues définies en coupe dans le 3D (et donc nécessaires) sont pour de nombreux logiciels utilisables dans la représentation 2D.

### → e. La vue en éclaté : visualiser une vue éclatée

Il s'agit également d'une représentation particulière, très largement utilisée dans des documents industriels, en particulier de maintenance, mais qui n'a de réel intérêt que dans une représentation figée. Sa relation au réel devra également être clairement précisée : un éclaté n'est pas un démontage. Le résultat de cette représentation est uniquement lié aux choix de son auteur et ne peut pas être associé à une analyse technologique du mécanisme. Elle est cependant utile pour l'opérateur de maintenance car elle permet de visualiser les pièces du mécanisme et leurs positions relatives.

Étant liée à un point de vue particulier, elle ne peut être clairement observée dans le 3D que suivant ce même point de vue qui doit donc être mémorisé (il est nécessaire de nommer cette vue).

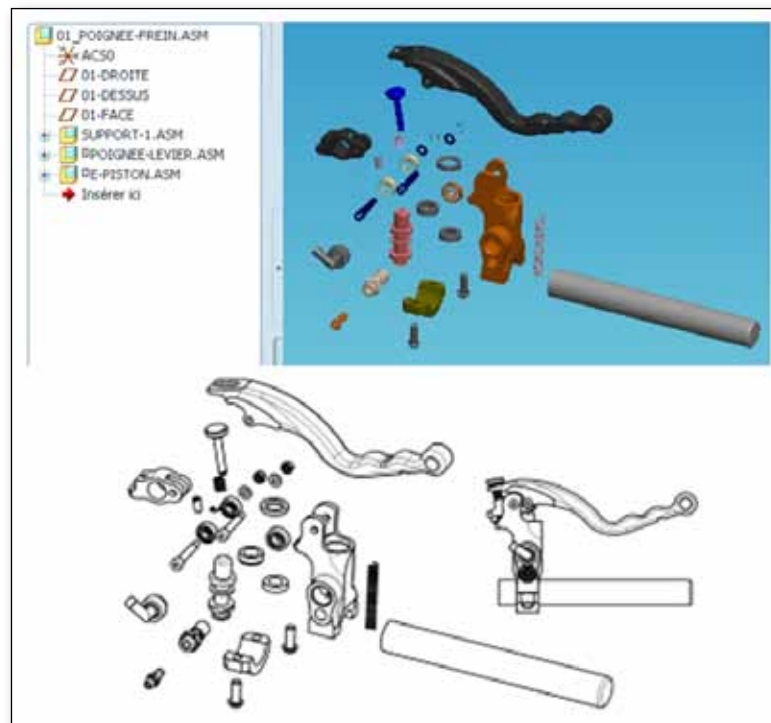


Fig. 1.11. Représentations éclatées de la poignée de frein (3D et mise en plan)

Fonction logicielle	Relation / réel	Relation / codes de représentation du dessin industriel
Vue éclatée	<b>Différence :</b> vue éclatée ≠ démonter ou déstructurer le mécanisme.	<b>Analogie :</b> avec les codes de représentation 2D : les vues éclatées dans le 3D sont, pour tous les logiciels, créées dans le 3D et récupérées dans la représentation 2D.



## → D. LES OUTILS D'ANALYSE

Toutes les options de visualisation décrites précédemment trouvent dans l'activité d'analyse leur pleine utilité. Leur maîtrise ou au moins leur connaissance permet à chacun de choisir l'option pour accéder au mieux à l'information technique recherchée.

La démarche de présentation de ces outils d'analyse est similaire à celle utilisée lors de la présentation des outils de visualisation et s'appuiera sur l'approche descendante couramment utilisée dans toute étude technologique. On distingue habituellement dans une étude technologique deux grandes phases :

- l'analyse fonctionnelle externe (observation du fonctionnement, identification de la loi entrée/sortie, vérification des performances...)
- l'analyse fonctionnelle interne (analyse des solutions technologiques...)

Tout modeleur fournit les outils appropriés aux besoins du technicien confronté à ces phases d'analyse. Mais cela signifie que l'on doit savoir très précisément quelle est l'information recherchée.

→ *Remarque : il est également utile de connaître les informations que l'on ne trouvera pas (par exemple s'il y a ou non de l'huile à l'intérieur).*

L'utilisation de ces outils va permettre à l'enseignant d'aborder un grand nombre d'aspects techniques. L'interprétation des résultats obtenus, et en particulier la relation avec le réel, sera exclusivement liée à la qualité technique du modèle numérique. C'est ici encore l'occasion de rappeler une règle importante évoquée précédemment.

### Règle 6

Toutes les données portées par le modèle numérique sont obligatoirement techniquement correctes.

L'analyse technique du système devra forcément prendre en compte certaines caractéristiques du modèle :

- l'élément géométrique associé est donc le solide géométriquement parfait et indéformable et dont les dimensions sont habituellement définies en cotes nominales.
- la représentation des éléments en réalité déformables doit être codifiée :
  - les ressorts, lorsqu'ils sont représentés, ne le sont que pour signaler leur présence dans le mécanisme. Aucune information associée à leur rôle dans le fonctionnement ne peut être obtenue à partir du modeleur. C'est uniquement dans le module de simulation mécanique que leur rôle peut être simulé.
  - les éléments déformés au montage sont représentés :
    - suivant leur état monté pour les éléments standards (anneaux élastiques, goupilles élastiques, joints d'étanchéité...),
    - à leur état repos lorsque la qualité de l'assemblage est liée à leur déformation (clipsage par exemple).

### → a. Analyse fonctionnelle externe

#### • 1. Analyse (=simulation) du fonctionnement

Cette première étape, devenue habituelle dans l'utilisation du modeleur, permet de mettre en évidence le fait que le modeleur volumique n'est pas seulement un outil de représentation.

Dans cette étape on s'intéresse au mouvement relatif des pièces. Le parallèle entre l'analyse du mécanisme réel et de son modèle avec les enseignements de construction mécanique peut alors être construit de manière pertinente.

Dans le cas de la poignée de frein, les enseignements concernent la cinématique :

- les termes logiciels liés aux commandes pourront être associés au vocabulaire technique : déplacer, glisser, translater, tourner...
- l'action logicielle est similaire à une action réelle : sélectionner puis agir sur un composant (ici le levier si l'on souhaite simuler le fonctionnement) (Fig. 1.12).
- la notion de mouvement est relative : sur le mécanisme réel, pour animer le mécanisme avec une main qui agit sur la poignée, il est nécessaire que le corps soit fixé. Dans le modèle, on retrouve cette même logique avec une action sur la poignée via la souris et la nécessité d'un élément fixe (ici, le corps) (Fig. 1.12).

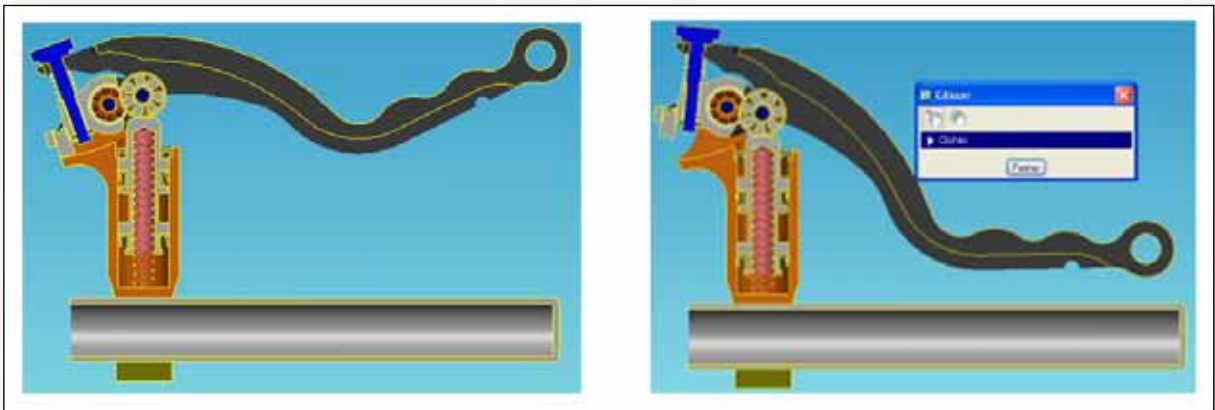


Fig. 1.12. Représentations de la poignée de frein en fonctionnement

La simulation du fonctionnement fait apparaître, ici sur cet exemple, 3 ensembles cinématiquement équivalents : SUPPORT-1 qui est l'ensemble fixe, POIGNEE-LEVIER et PISTON (Fig. 1.13).

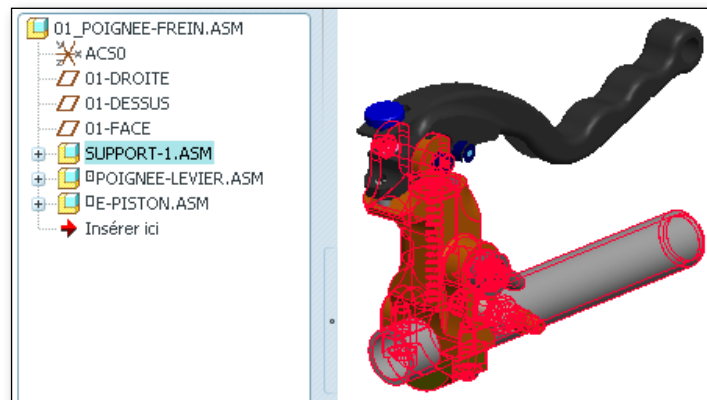


Fig. 1.13. Organisation du modèle avec les trois classes d'équivalence cinématiques

Une structuration de l'assemblage sous cette forme présente de nombreux avantages :

- du point de vue logiciel :
  - dans la réalisation même de cet assemblage : les seules liaisons ou contraintes d'assemblage sont à créer entre ces 3 sous-ensembles (Fig. 1.13),
  - cette organisation est automatiquement prise en compte lors de l'utilisation des modules de simulation mécanique.
- du point de vue pédagogique : il est très facile, quel que soit le mode de représentation, de procéder à une identification visuelle par coloriage de chaque ensemble cinématique associé informatiquement à un sous-ensemble dans l'arbre de construction (Fig. 1.14).

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

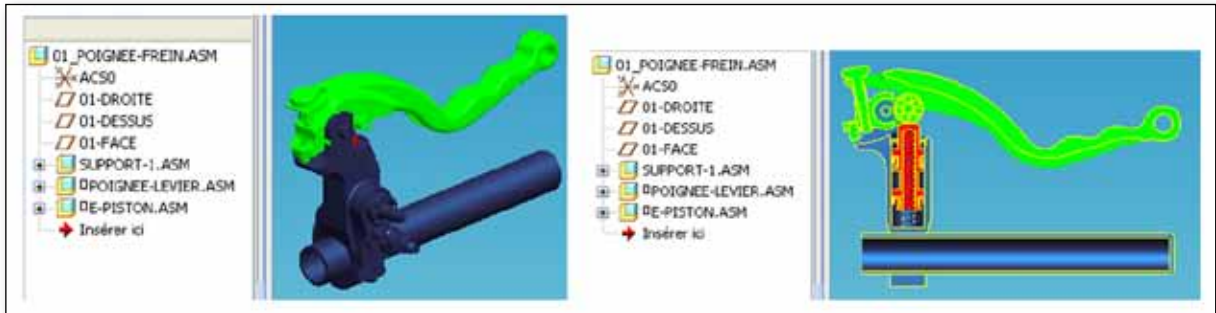


Fig. 1.14. Association d'une couleur à un sous-assemblage (ici la poignée-levier)

Le modeler apparaît alors bien comme un véritable outil pédagogique. La tâche (oh combien fastidieuse et rébarbative) de coloriage d'un dessin d'ensemble en vue d'identifier les ensembles cinématiquement équivalents relevait essentiellement d'un exercice de décodage. Elle est ici réalisée en quelques clics et peut prendre un tout autre sens. Nous verrons qu'il y a là matière à l'organisation d'une activité pédagogique intéressante.

Cette première phase d'analyse permet au technicien (professeur, élève, ...) de comprendre et de décrire le fonctionnement, d'identifier les ensembles cinématiquement équivalents et les mouvements relatifs entre ces ensembles. Le professeur s'appuie ensuite sur le modèle cinématique pour valider ou rechercher les caractéristiques du système (par exemple ici l'amplitude de la rotation du levier ou la course du piston).

→ *Remarque : le technicien peut être amené à rechercher d'autres informations sur le modèle, par exemple sur l'effort exercé par le pilote ou le niveau d'huile minimum nécessaire au fonctionnement.*

Le modeler volumique ne peut apporter toutes les réponses et l'expérience de l'enseignant permet à ce dernier de cerner petit à petit les limites du modèle :

- le modeler volumique ne contient que des données géométriques auxquelles s'ajoutent toutes les caractéristiques associées (masse, centre de gravité, matrice d'inertie ...) si la masse volumique est définie ;
- on ne peut obtenir de réponse que s'il existe une solution mathématique correcte (ne pas s'étonner par exemple que le logiciel ne trouve pas la distance entre 2 droites quelconques) ;
- les données mécaniques ne sont accessibles qu'à partir de l'utilisation d'un module (intégré ou non) de simulation mécanique.

- 2. Les outils d'analyse : mesure (distance, diamètre, angle, surface, ...masse)

### Mesure de grandeurs dans une position figée



Fig. 1.15. Différentes grandeurs de la poignée de frein

Les outils de mesure ou d'analyse sont clairement identifiables dans tous les logiciels (Fig. 1.15). La seule précaution, à laquelle on peut associer la relation au réel, est de choisir le bon outil en fonction du type de dimension mesurée (distance entre deux points, angle...). C'est l'occasion d'aborder avec les élèves les savoirs liés à la description des positions relatives des surfaces et des volumes d'une pièce (Fig. 1.2).

Les unités, souvent non affichées, sont liées à la configuration générale qu'il faut donc connaître afin d'interpréter correctement le résultat (comme par ex. ci-dessus, lorsque l'unité de masse est la tonne soit  $10^3\text{kg}$ , ou  $10^6\text{g}$ ).

### **Mesure de performances : course, débattement angulaire...**

Cette étape est plus évidente si on se réfère à une mesure sur le mécanisme réel plutôt qu'à une utilisation du dessin industriel. Prenons l'exemple de la mesure de la course maximum du piston. Cette mesure à partir de la représentation 2D consiste d'abord à représenter les 2 positions extrêmes puis à mesurer la valeur de la distance entre ces 2 positions.

Cette démarche est différente sur le réel où le piston ne peut avoir simultanément 2 positions différentes. La course est alors déduite de la variation de longueur par rapport à un élément fixe, obtenue avec un outil de mesure (un comparateur par exemple).

La démarche utilisée avec le modelleur est analogue à celle conduite sur le réel (ce qui présente un intérêt pédagogique évident) : la course est obtenue par la différence des 2 positions extrêmes (Fig. 1.16).

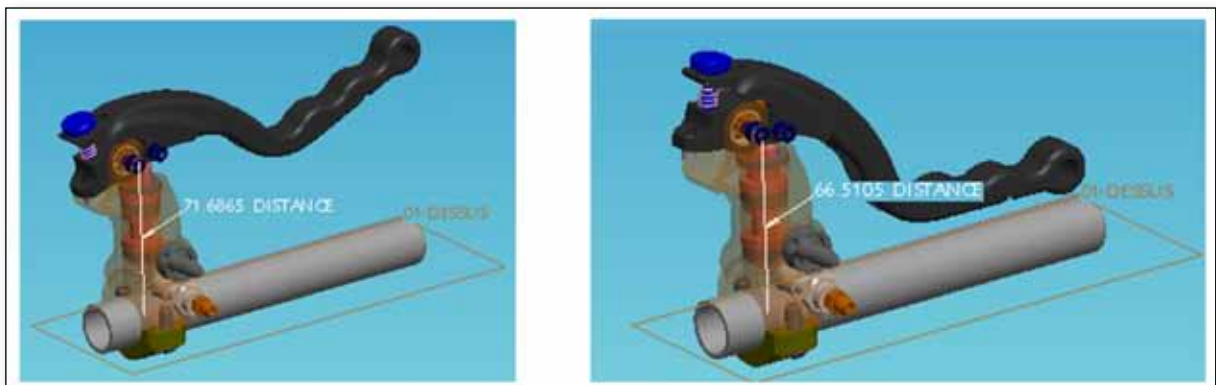


Fig. 1.16. Mesure de la course du piston

On peut faire remarquer :

- que le résultat est identique quel que soit le point du piston choisi : association avec les propriétés du mouvement de translation,
- que le choix du type de mesure (point / plan ou 2 plans parallèles et non point / point) est primordial pour la validité du résultat : comme sur le réel, le résultat sera dépendant de la bonne orientation de l'outil de mesure.

→ *Remarque : on observe donc, pour l'utilisation de la mesure d'une performance, une analogie forte entre les actions à mener sur le modelleur et les précautions à prendre, et les actions que pourrait mettre en place un technicien avec le système réel.*

### • 3. La configuration particulière d'un mécanisme

Pour déterminer les performances d'un mécanisme, on doit être en mesure de simuler correctement son fonctionnement.

La détection de collision est une première fonctionnalité possible. Cependant, elle permet de s'approcher de cette simulation surtout lorsqu'un arrêt du mouvement est associé, mais ne garantit pas une parfaite répétabilité (la même action réalisée simultanément par plusieurs élèves ne donnera pas exactement le même résultat).

Une deuxième fonctionnalité permet de répondre de manière exacte à ce problème de précision. Il suffit de positionner le mécanisme dans une configuration géométrique exacte en contraignant un composant dans une position caractéristique.

Sur l'exemple de la poignée de frein, pour simuler la position haute de la poignée, il suffit de mettre en coïncidence les surfaces de la vis et du corps (Fig. 1.17). Les avantages de cette fonctionnalité ne concernent pas uniquement la précision du résultat mais également la démarche technique associée.

En effet, pour configurer la poignée en position repos, il est au préalable nécessaire de formuler de manière explicite les conditions réelles de la mise en butée en utilisant les outils de visualisation.

Dans une configuration, cette position est atteinte lorsqu'un point de l'arête de la vis sera en contact avec la surface incurvée du corps, d'où une coïncidence entre une arête de la vis et une surface du corps.

Dans une autre configuration, c'est la surface extrême de la vis qui entre en contact avec l'arête du corps, d'où une coïncidence entre la surface inférieure de la vis et l'arête du corps (Fig. 1.17).

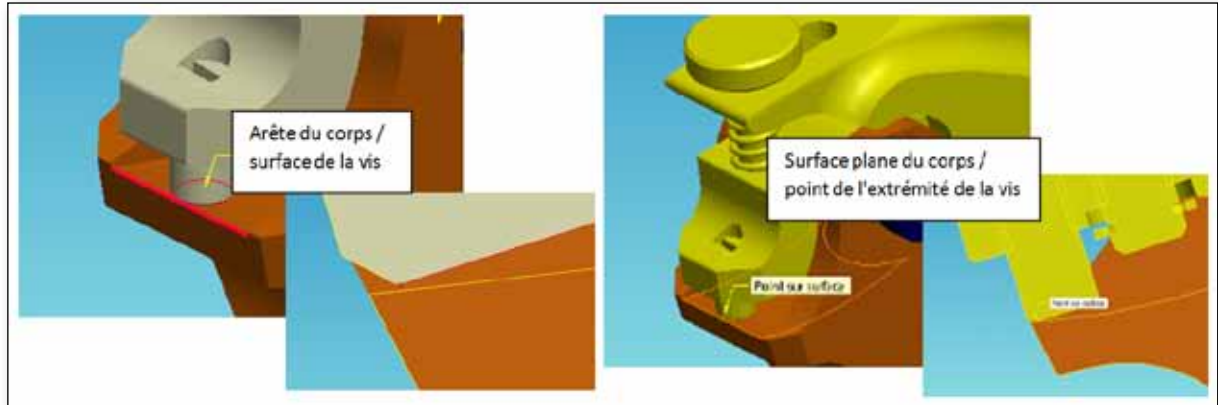


Fig. 1.17. Mise en butée de la poignée sur le corps (coïncidence d'éléments géométriques différents suivant la configuration)

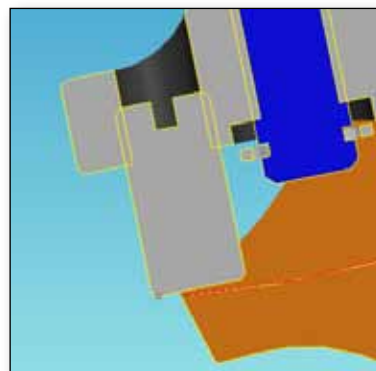


Fig. 1.18. Influence du réglage de la vis sur la position extrême de la poignée

Ce choix de modélisation est lié, toujours sur le modèle, à une position particulière du réglage (usine) de la vis de butée (Fig. 1.18).

L'analyse comparative des résultats correspondant soit à la répétition de la même tâche par le même opérateur, soit réalisée indépendamment et simultanément par plusieurs opérateurs (tous les élèves par exemple), permet de montrer qu'une démarche rigoureuse conduit, comme sur le réel, à une unicité de réponse : par exemple l'angle initial de la poignée par rapport au guidon (Fig. 1.19).

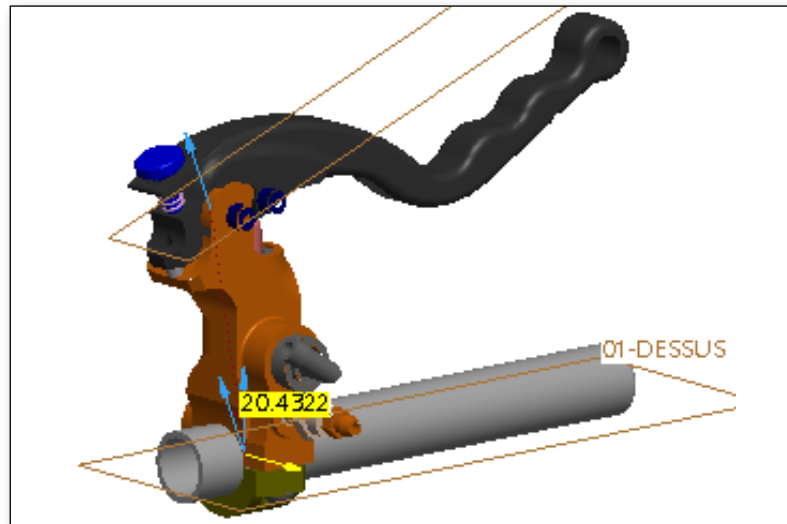


Fig. 1.19. Mesure de l'angle de la poignée par rapport au guidon

Dans toute la présentation précédente, en s'attachant à montrer la relation modèle/réel, nous avons surtout vu en quoi le modèle numérique constituait une image univoque du réel.

Nous allons à présent mettre en évidence une utilisation d'autant plus pertinente qu'elle ne peut être simulée sur le mécanisme réel.

Sur le réel, lors du freinage, c'est l'action sur la poignée qui provoque le déplacement du piston. Sur le modèle, il est aussi facile d'agir sur le piston que sur la poignée : on peut donc ainsi inverser la loi entrée/sortie et **choisir** librement le paramètre d'entrée.

En reprenant l'exemple précédent, l'angle mesuré de la poignée par rapport au guidon peut être choisi comme paramètre ou contrainte de configuration. Par exemple, si le pilote souhaite un angle en position haute égal à  $24^\circ$  de son levier, le modèleur permet de déterminer avec précision la valeur du réglage de la vis correspondante (Fig. 1.18 et Fig. 1.20).

On pourrait de manière analogue vérifier qu'un angle de  $25^\circ$  serait impossible à obtenir.



## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

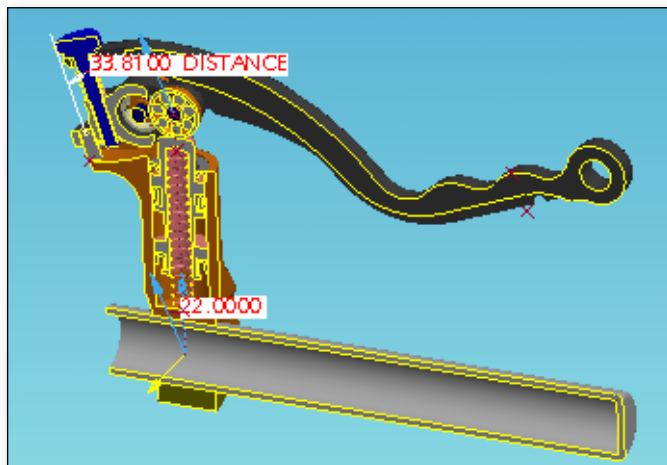


Fig. 1.20. Réglage de la vis pour une position angulaire de 22°

→ Remarque : la Fig. 1.21 illustre que les variations successives de la valeur de ce même paramètre d'entrée (l'angle de la poignée / guidon) permettent de mesurer les variations respectives du paramètre de sortie (la position verticale du piston). Un relevé de ces valeurs par exemple sous forme de tableau et leur interprétation par exemple graphique, permettrait de définir ce qui correspond à l'analyse des courbes de résultat des logiciels de simulation.

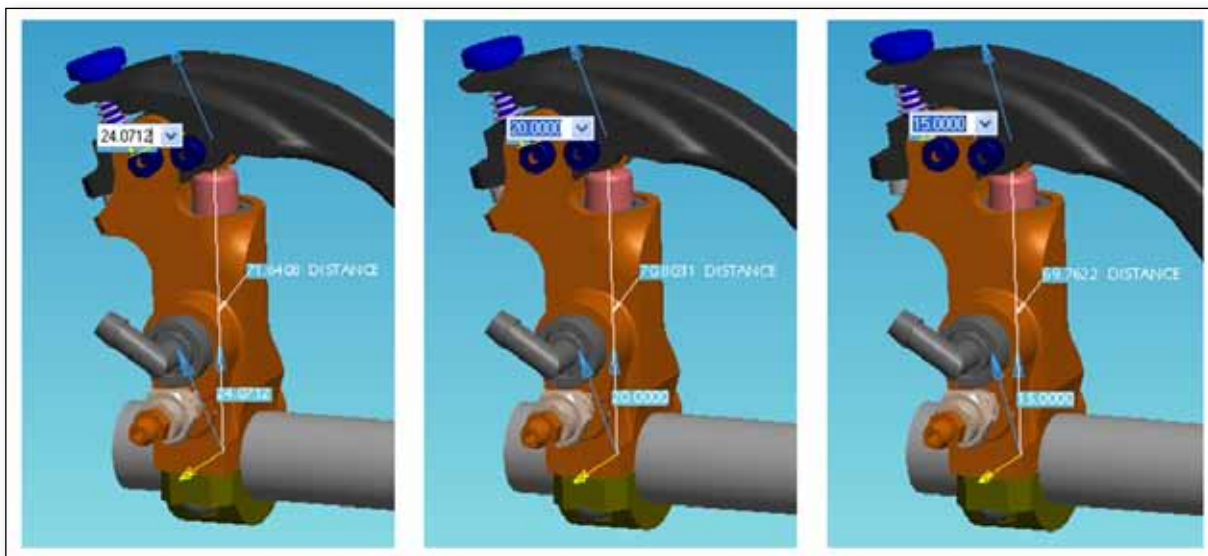


Fig. 1.21. Mesure d'une distance pour plusieurs valeurs du paramètre d'entrée (position angulaire du la poignée)

On voit au travers de cette application que le modeler est également pour l'agent de maintenance un outil d'aide pour effectuer une tâche professionnelle (ici pour déterminer la position de la vis de réglage afin d'obtenir l'angle imposé par le pilote entre la poignée et le guidon).

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

### → b. Analyse fonctionnelle interne

- 1. Mise en évidence de l'intérêt du modelleur

L'analyse du fonctionnement menée précédemment nous a conduits à identifier les « Ensembles cinématiquement équivalents ». Le levier a alors été identifié comme faisant partie de l'ensemble POIGNEE-LEVIER en liaison pivot par rapport à l'ensemble SUPPORT (Fig. 1.22).



Fig. 1.22. Identification du levier dans le sous-ensemble poignée-levier

Une première interrogation légitime pour un technicien de maintenance consiste à se demander si cette organisation cinématique peut correspondre à une organisation de démontage : est-il possible de déposer l'ensemble poignée ? Informatiquement, il est possible d'isoler successivement le sous-ensemble puis la pièce (Fig. 1.23).



Fig. 1.23. Visualisation du sous-ensemble levier-poignée puis de la pièce poignée

→ Remarque : ces étapes sont également réalisables à partir de n'importe quel visualisateur, par exemple avec un Pdf3D sous Acrobat® (Fig. 1.24).

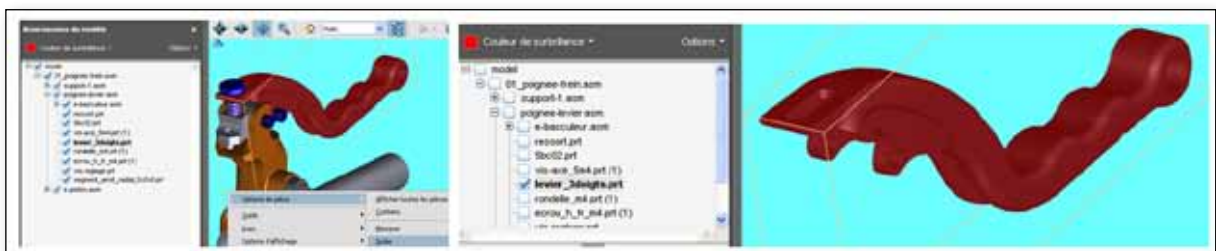


Fig. 1.24. Visualisation du sous-ensemble levier-poignée puis de la pièce poignée sous Acrobat®



Cette visualisation a permis d'isoler la pièce et d'aborder éventuellement la structure d'un mécanisme. Cependant, elle n'apporte aucune information technique particulière sur les liaisons (types de surfaces en contact, éléments technologiques utilisés).

Cette analyse des liaisons (l'identification claire de chaque couple de surfaces en contact et la détermination des degrés de liberté supprimés), qui constitue une partie importante de l'enseignement de construction, peut être menée sur le modelleur volumique comme nous allons le voir maintenant.

### • 2. Contraintes d'assemblage et liaisons

L'analyse des liaisons constitue une part importante de l'enseignement de construction en maintenance automobile. Sur le modelleur volumique, la mise en place de ces liaisons s'effectue par l'intermédiaire des surfaces de contact caractérisées sous forme de contraintes d'assemblage (Fig. 1.25).

Dans le cas de la liaison entre le corps et le sous-assemblage poignée-levier, on peut identifier deux surfaces en contact qui sont la portée cylindrique et l'appui plan. On trouve dans l'arbre de construction, au même niveau que les sous-assemblages considérés, des contraintes d'assemblage qui sont :

- une coaxialité entre le cylindre intérieur du roulement et l'axe de la vis qui correspond au contact cylindre/cylindre ;
- une coïncidence entre le plan du corps et le plan de la poignée-levier qui correspond à un appui plan supprimant le dernier degré de liberté de la liaison pivot.

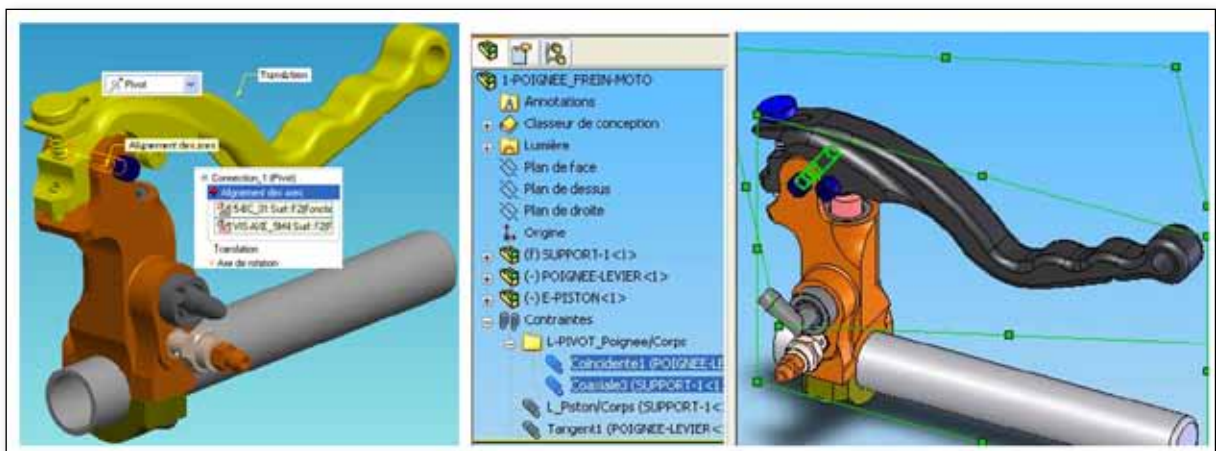


Fig. 1.25. Contraintes d'assemblage entre les Ensembles Cinématiquement Équivalents (Pro/E & SLDW)

Cette association entre contraintes d'assemblage et suppression des degrés de liberté est une fonctionnalité à usage pédagogique intéressant pour l'enseignant de construction. L'élève peut en effet, sur le modelleur volumique, simuler la mise en contact des surfaces et visualiser les degrés de mobilité restants.

Par exemple, sur la poignée de frein, la suppression ou la désactivation (et non la destruction définitive) de la liaison pivot entre le corps et le levier via les contraintes d'assemblage est représentée Fig. 1.26.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

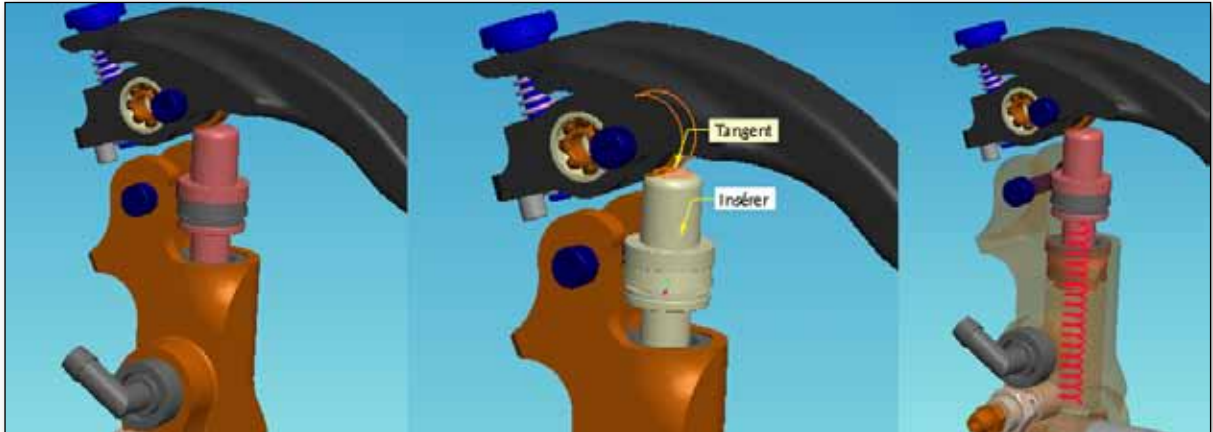


Fig. 1.26. Annulation des contraintes d'assemblage relatives à la liaison pivot corps/poignée-levier

On constate sur la figure que le piston suit l'enlèvement de la poignée. En effet, le choix d'une contrainte de tangence entre la face supérieure du piston et le galet a permis de simuler l'action du ressort, qui assure en réalité la permanence de ce contact. En maintenance, cette observation permet de s'interroger sur l'éventualité d'une éjection du piston lors de l'enlèvement de la poignée et donc d'envisager des précautions à prendre notamment sur la récupération du ressort.

Encore ici, le modeler apparaît comme outil pédagogique performant en mettant en parallèle les contraintes d'assemblage et l'analyse d'une liaison avec l'appui de la visualisation.

L'analyse de la liaison corps/poignée-levier étant réalisée, il nous reste à analyser la procédure de ce démontage. On déduit de l'étude de la liaison pivot entre la poignée et le corps qu'il faut donc enlever la VIS-AXE\_5M4. Le technicien de maintenance a alors besoin d'informations techniques pour effectuer correctement cette dépose. Ces informations sont identifiables sur le modèle volumique notamment dans l'arbre de construction où les éléments à démonter sont répertoriés (Fig. 1.27).

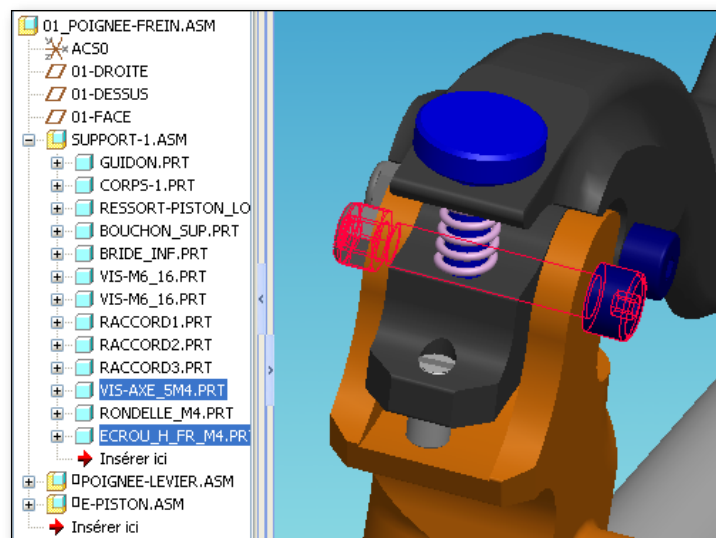


Fig. 1.27. Identification des éléments constitutifs de la liaison corps / poignée-levier

Il peut être intéressant de faire ici un parallèle, surtout pour un agent de maintenance, entre cette observation et la désignation normalisée des composants standard : le premier critère de la désignation normalisée d'un élément boulonné correspond bien à la forme et/ou au type d'outil que l'opérateur doit utiliser et donc ici choisir. On peut également identifier ce qui distingue cette VIS-AXE d'une vis standard. La deuxième information nécessaire au choix de cet organe de manœuvre concerne les dimensions : également accessibles sur le modelleur.

### • 3. Conventions de modélisation et règles associées

#### - Modélisation des assemblages boulonnés

On peut observer que la modélisation de l'assemblage boulonné (Fig. 1.28) correspond à une représentation simplifiée des filetages. Cette représentation porte néanmoins l'essentiel de l'information technique à savoir la zone filetée en prise avec l'écrou visible grâce à une **analyse d'interférence**.

Cette fonctionnalité indique ici, aussi bien en vue extérieure qu'en vue en coupe, que l'interpénétration de matière a lieu uniquement entre la vis et l'écrou (Fig. 1.28).

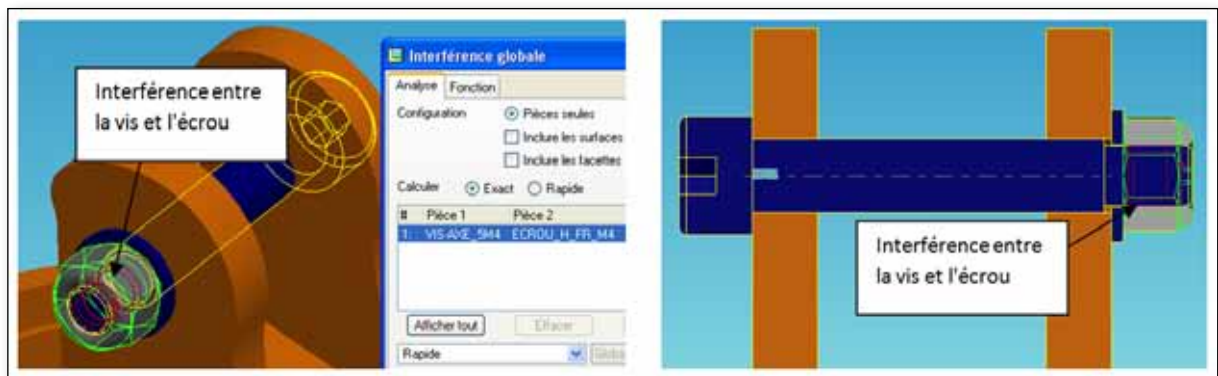


Fig. 1.28. Interférence entre la vis et l'écrou (en rouge sur l'image) permettant d'identifier les pièces concernées

→ *Remarque* : sur l'exemple, l'analyse technique permet de dire que la vis est en liaison pivot par rapport au corps et n'est donc pas arrêtée en rotation lors du démontage. De plus, les mesures dimensionnelles effectuées sur les faces hexagonales opposées de la vis et de l'écrou permettent de savoir qu'il est nécessaire de disposer d'une clé 6 pans en plus de la clé permettant la manœuvre de l'écrou, pour immobiliser cette vis-axe. Là encore, le modelleur volumique permet de conduire une analyse technique intéressante pour l'activité de maintenance.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

On peut donc dans le cas des assemblages boulonnés énoncer les conventions de représentation suivantes :

- L'état de représentation acceptable pour les filetages est celui de la représentation simplifiée qui permet d'obtenir la représentation associée dans le cas de la mise en plan.
- La représentation réaliste des filetages est à proscrire. Elle n'apporte en effet aucune information technique et est par ailleurs très pénalisante du fait de la taille informatique des modèles ainsi créés.

→ *Remarque : l'observation d'un assemblage fileté réel apportera infiniment plus de connaissances que n'importe quelle modélisation.*

Cette remarque amène la règle de modélisation suivante.

### Règle 7

Un assemblage fileté est modélisé au « maxi matière » : la vis est représentée à son diamètre nominal et l'écrou, ou le trou taraudé est représenté au diamètre de perçage. La vérification d'interférence permet de valider et/ou d'identifier les liaisons filetées.

→ *Remarque : pour que cette identification soit pertinente, comme pour l'analyse des mouvements, le mécanisme ne doit pas comporter d'interférences parasites (interférences non fonctionnelles).*

- Modélisation des composants standards – exemple : roulement

La visualisation d'une vue en coupe de la liaison pivot peut dérouter et sembler contraire aux règles de la représentation 2D, surtout lorsque le plan de coupe passe par le centre des billes (Fig. 1.29).

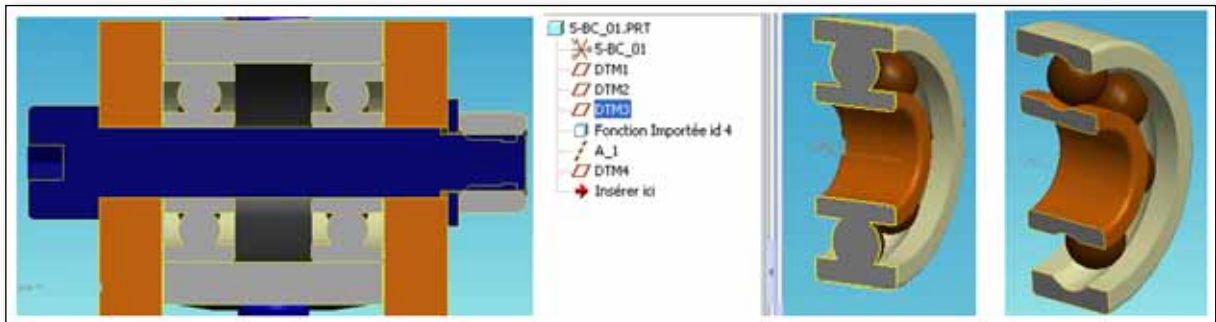


Fig. 1.29. Représentation volumique des roulements

Cette représentation pourrait paraître plus conforme si les roulements étaient décalés angulairement. Mais en termes de contenu technique, l'information véhiculée reste la même. Le problème visuel tient alors uniquement au choix de la modélisation du roulement par une pièce, choix qui correspond :

- à l'état de modélisation le plus simple (tant en gestion de fichiers qu'en taille mémoire),
- à la signification la plus explicite : pour un agent de maintenance, ce roulement constitue un seul et même composant.

→ *Remarque : le fait que le roulement appartienne ici au sous-ensemble poignée-levier dans l'arbre de construction permet d'indiquer qu'il n'y a pas d'ajustement serré sur les bagues intérieures.*

### - Généralisation de la règle

Le modelleur volumique ne peut pas tout faire. En particulier pour l'enseignant de construction, il ne peut et ne doit pas se substituer aux outils habituels de l'analyse technologique et en particulier à la confrontation au réel. La découverte d'une vis ou d'un roulement au travers de leur représentation 3D n'est certainement pas pertinente et leur représentation, présentée comme réaliste, ne donne aucune information technique réelle.

Par exemple, la représentation réaliste du filetage (à supposer qu'elle soit correcte) ne fait pas apparaître la zone de contact réelle dans la liaison. De la même façon, la représentation d'un roulement en assemblage (souvent représenté sans la cage), ne permet pas d'identifier la zone de contact sous charge ou la valeur du rotulage admissible.

La modélisation des vis et des roulements est donc associée à l'information technique dont ils sont porteurs au travers de leur désignation normalisée. À l'utilisateur de connaître cette désignation pour pouvoir la décoder. C'est d'ailleurs ce que l'on peut attendre d'un élève de maintenance.

L'analyse précédente conduisant à la démarche retenue pour déposer le levier a permis de conclure qu'il fallait enlever la vis-axe (Fig. 1.30). Cette démarche peut être simulée informatiquement : comme sur le réel, il suffit d'inverser l'ordre de montage.

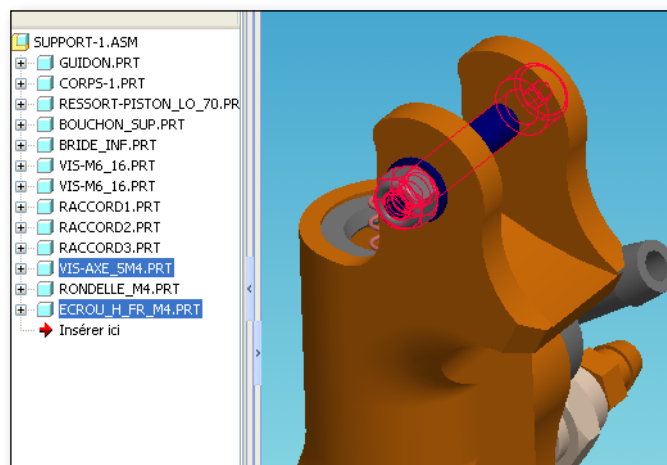


Fig. 1.30. Identification de la vis et de l'écrou à démonter

Pour simuler le démontage, on peut, comme nous l'avons vu, supprimer (rendre inactive) chacune des contraintes d'assemblage dans l'arbre de construction, en commençant par la dernière pièce associée (ici l'écrou), et visualiser à chaque étape si on le souhaite le résultat de l'intervention (Fig. 1.31).

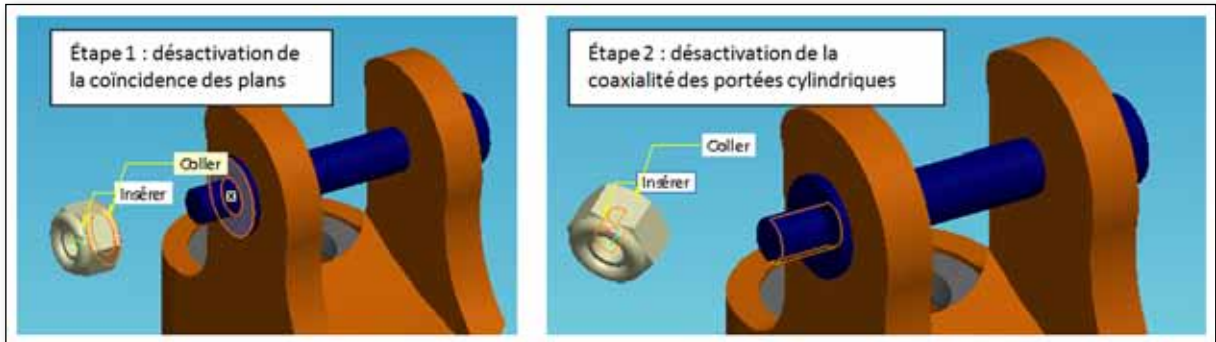


Fig. 1.31. Simulation du démontage de l'écrou

La réactivation de chacune de ces contraintes, à la fin ou à tout moment, permet de visualiser la simulation du remontage.

→ Remarque : la conclusion de cette analyse peut être associée à la réalisation d'un éclaté dont l'animation traduirait le graphe de montage/démontage.

#### • 4. Analyse dimensionnelle

Le déroulement logique de l'analyse fonctionnelle, après l'identification des surfaces fonctionnelles, conduit habituellement à une caractérisation dimensionnelle : jeux, ajustements...

Le modèle numérique, utilisé ici comme support de présentation, est, rappelons-le, issu d'un format neutre. Ce format a permis de récupérer la géométrie de chaque pièce dans l'état où elle a été transférée. On peut donc mesurer ses dimensions, comme on le ferait sur une pièce réelle, mais sans avoir aucune information sur la définition fonctionnelle.

Généralement, sauf indications contraires, la géométrie est récupérée en cotes nominales et les jeux radiaux ou axiaux n'apparaissent dans le modèle que s'ils sont nominalement supérieurs à zéro.

Par exemple ici :

- une mesure dimensionnelle des diamètres de la vis-axe et de l'alésage du corps permettra uniquement de vérifier :
- qu'ils ont le même diamètre nominal (Fig. 1.32),
- que le jeu radial entre la vis et la rondelle (nominalement  $> 0$  : voir normes) apparaît bien,
- que les jeux axiaux, non associés à un ajustement ISO, apparaissent. On peut mesurer leur valeur nominale et constater par exemple ici que les roulements ne participent en rien au positionnement axial du sous-ensemble « poignée-levier ».

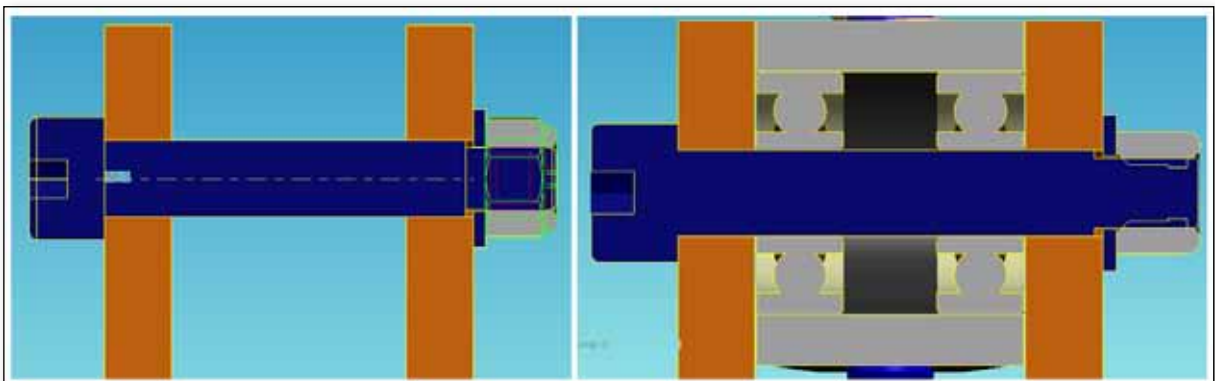


Fig. 1.32. Diamètre de la vis et de l'alésage



## → E. LA DEFINITION FONCTIONNELLE D'UNE PIECE

La définition fonctionnelle ne constitue pas le cœur de métier de l'opérateur de maintenance. Cependant l'interprétation de certaines de ces informations (type d'ajustement par exemple) est associée à la réalisation de tâches de maintenance. Ainsi, l'analyse des surfaces influentes d'une pièce et des spécifications dimensionnelles et géométriques associées, constitue une compétence générique de tous les référentiels, y compris de ceux de maintenance.

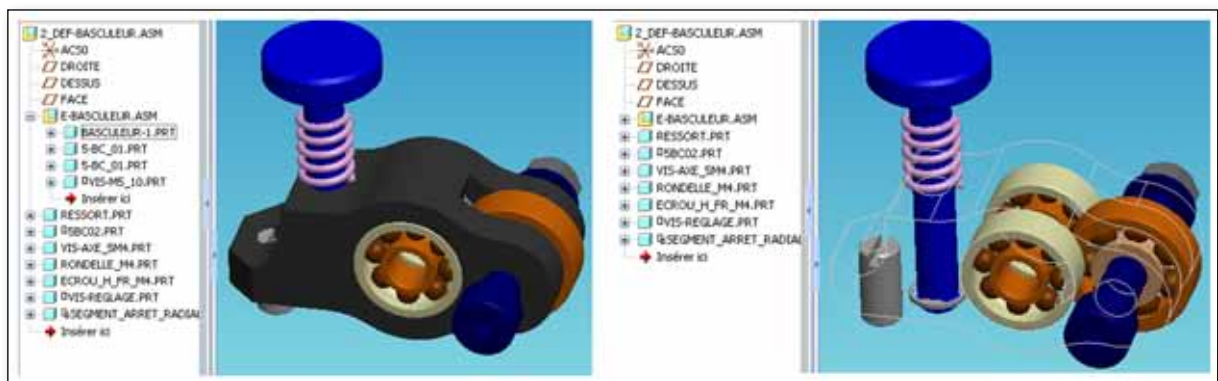
Le modelleur, organisé pour permettre au concepteur d'exprimer au mieux ses exigences fonctionnelles lors de la définition d'une pièce, peut également être utilisé avec la même pertinence en phase d'analyse.

Nous allons tout d'abord identifier quelques particularités du modelleur associées à cette définition fonctionnelle et permettant de l'illustrer.

### → a. Analyse fonctionnelle d'une pièce : identification des surfaces fonctionnelles

Prenons comme exemple le basculeur de cette poignée. Est-il besoin de rappeler que l'approche fonctionnelle de cette pièce vise à la caractériser comme un ensemble de surfaces fonctionnelles dont les formes, les dimensions et les dispositions relatives concourent au bon fonctionnement de l'ensemble.

Chacune de ces surfaces fonctionnelles est identifiée comme matérialisant une fonction technique (Fig. 1.33), énoncée en termes caractéristiques de l'analyse technique : lier, guider, mettre en position, maintenir en position, assurer le positionnement relatif...



- FT1. Assurer le guidage en rotation de la poignée par rapport au corps,
- FT2. Transmettre l'action de l'opérateur sur la poignée au piston,
- FT3. Assurer la mise en butée en position repos,
- FT4. Permettre le réglage angulaire de la position repos de la poignée,
- FT5. Permettre le réglage (en usine) de la position repos du piston / corps

Fig. 1.33. Fonctions techniques du basculeur

Une décomposition de ces différentes fonctions conduit, en remarquant également que FT3 et FT5 sont réalisées par le même composant, à l'identification des surfaces fonctionnelles correspondantes du basculeur. Identification à laquelle on peut facilement associer sous le modelleur volumique un code couleur (Fig. 1.34).



## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]



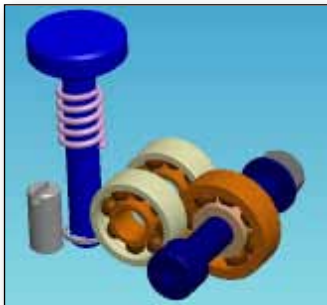
Fig. 1.34. Identification des surfaces fonctionnelles sur le modeleur volumique

On peut également obtenir, à partir d'une identification similaire, un modèle uniquement constitué de ces surfaces fonctionnelles (Fig. 1.35) (les surfaces planes assurant les arrêts axiaux ne sont pas sélectionnées ci-dessous). On peut ainsi vérifier que le fonctionnement est inchangé, toutes les fonctions de la pièce étant réalisées.



Fig. 1.35. Identification des surfaces fonctionnelles sur le modeleur volumique

### → b. Conception d'une pièce (dans l'assemblage)



L'analyse précédente a conduit à identifier les surfaces fonctionnelles du basculeur en liaison avec chacune des pièces. La démarche de conception d'une pièce consiste donc à reproduire le cheminement inverse : les surfaces fonctionnelles de la pièce à créer seront construites une à une en s'appuyant sur les surfaces associées des pièces en liaison (la figure ci-contre donne par exemple toutes les pièces en contact avec la pièce basculeur). Tous les modeleurs sont organisés pour répondre de manière performante à cette démarche. Cette fonctionnalité n'est pas abordée ici.

## → c. Création d'une pièce (hors assemblage)

Les paragraphes suivants indiquent succinctement la démarche de conception de la pièce basculeur.

### • 1. Analyse préliminaire

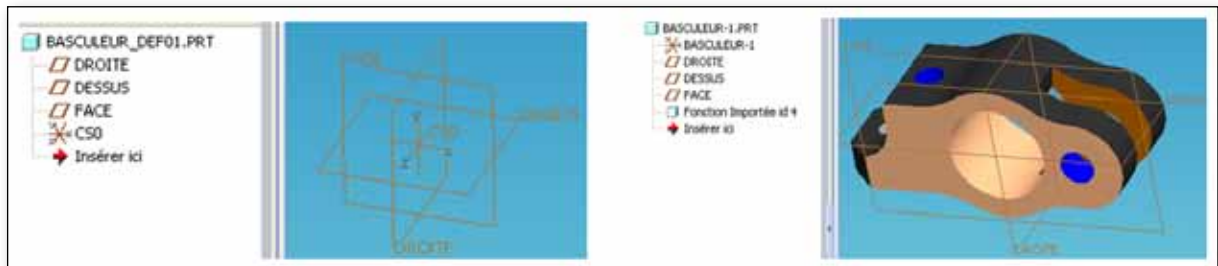


Fig. 1.36. Définition des plans de référence et de l'origine de la pièce basculeur

Tout modèle numérique est caractérisé par ses éléments de référence : 3 plans associés à un repère orthonormé, que l'on retrouve donc au démarrage (Fig. 1.36). La première question que se pose le technicien est de savoir comment on veut positionner le modèle par rapport à ces références : le choix de la première fonction est déterminant et donne la réponse ci-dessous.

- L'origine est au centre de la première fonction technique FT1 (Intersection axe du cylindre / plan de symétrie)
- La vue de face correspond au plan de face, OxOy (Fig. 1.36).

### • 2. Création fonctionnelle du modèle : en relation avec l'analyse fonctionnelle

La première fonction, associée à la mise en position radiale des 2 roulements, est donc modélisée par un cylindre. L'utilisation d'un modèleur volumique permet de considérer que l'on prend en compte la rigidité de cette surface fonctionnelle en définissant une épaisseur.

On obtient alors aussi bien sur le modèle numérique que sur la mise en plan la définition fonctionnelle associée (Fig. 1.37).

Le modèle numérique est alors obtenu en renouvelant à l'identique cette démarche pour chacune des fonctions techniques, préalablement identifiées.

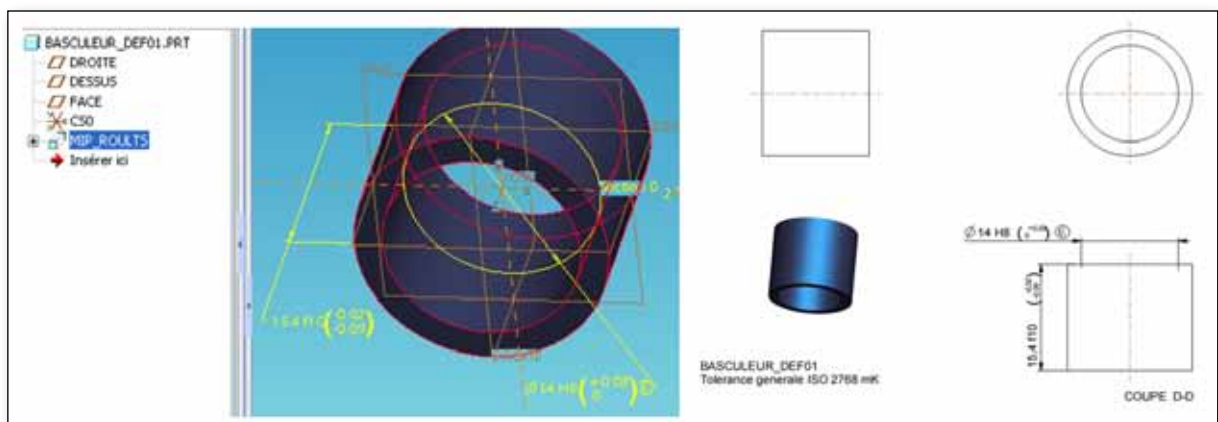


Fig. 1.37. Définition correspondant à la fonction «mise en position radiale des deux roulements»

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

Ainsi, pour la fonction suivante FT2 (Transmettre l'action de l'opérateur sur la poignée au piston) (Fig. 1.33), on obtient la définition fonctionnelle (Fig. 1.38) :

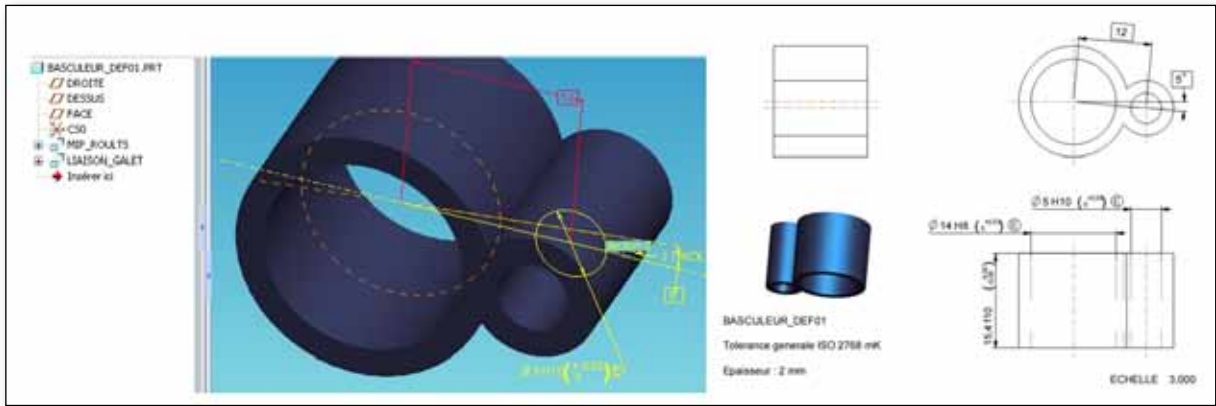


Fig. 1.38. Définition fonctionnelle correspondant à la fonction «FT2»

Pour aboutir à la définition complète du modèle fonctionnel (Fig. 1.39) :

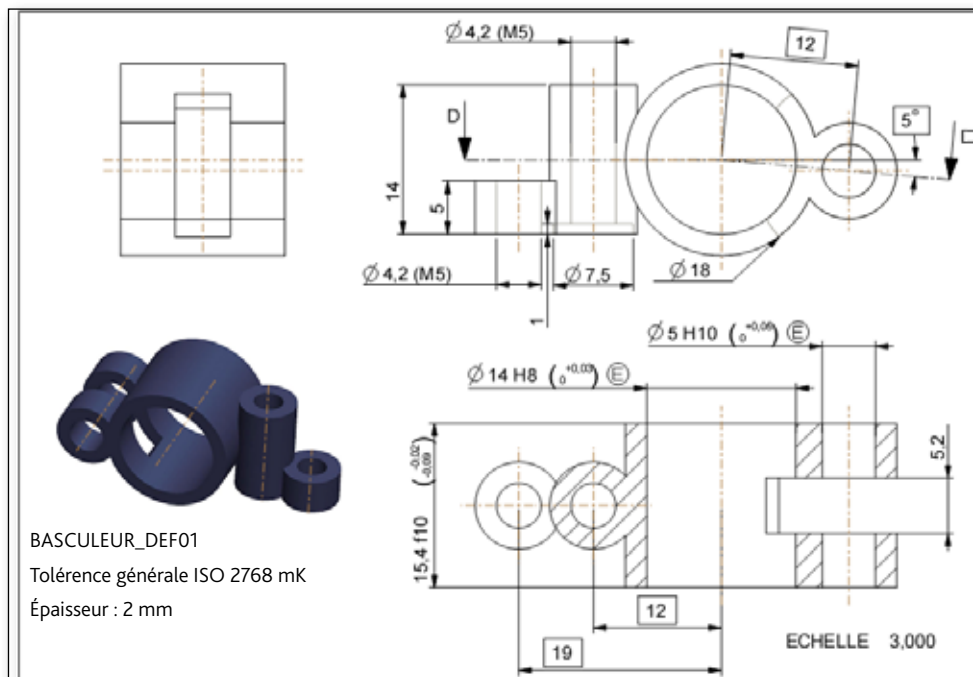


Fig. 1.39. Définition fonctionnelle du basculeur

On peut être surpris à ce stade-là de ne pas retrouver la forme extérieure du basculeur. C'est peut être l'occasion de constater qu'elle n'a rien de fonctionnel et de mettre encore une fois en évidence la différence entre l'analyse morphologique d'une pièce et son analyse fonctionnelle.

L'intérêt de cette **décomposition fonctionnelle** apparaît :

- dans la mise en évidence de la **définition fonctionnelle** associée à une **fonction** précise, aussi bien sur le modèle que sur la mise en plan (par exemple ici « positionner la vis de réglage ») (Fig. 1.40) :

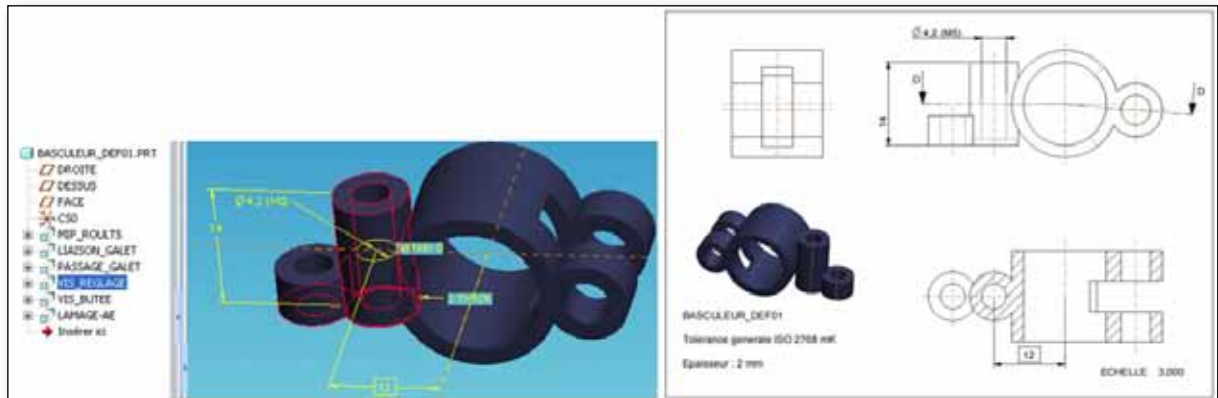


Fig. 1.40. Définition fonctionnelle correspondant à la fonction «positionner la vis de réglage»

- mais surtout dans le fonctionnement de l'ensemble dans lequel cette pièce intervient, ce qui permet de montrer l'influence de la variation de la **valeur d'une cote fonctionnelle** (Fig. 1.41) :

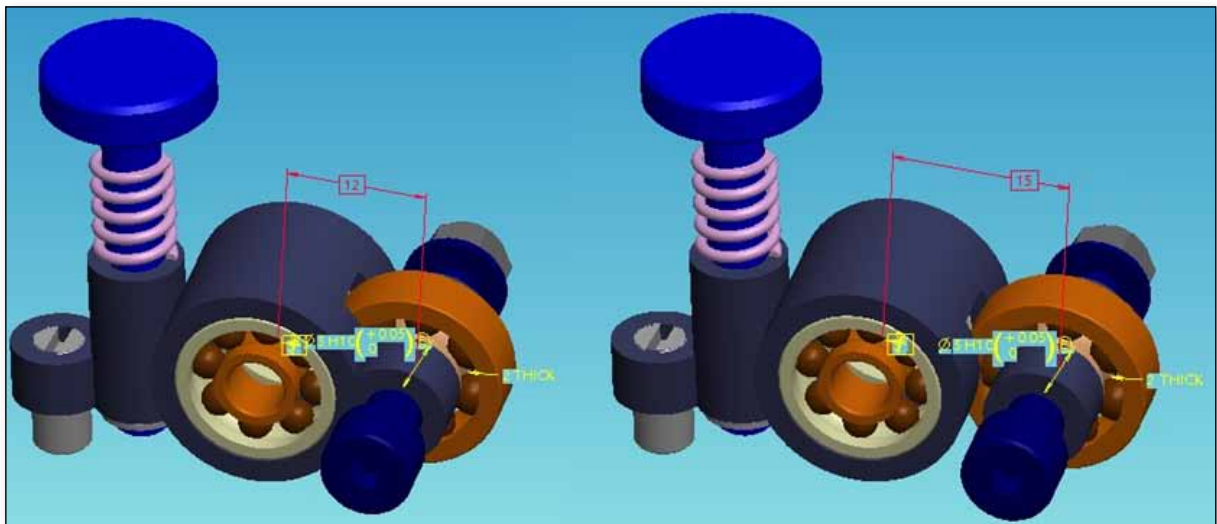


Fig. 1.41. Influence d'une cote fonctionnelle

- une étude de dimensionnement peut être réalisée pour vérifier ou valider les choix dimensionnels, par exemple ici le choix de l'épaisseur de matière (voir paragraphe 5.3).

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

### • 3. Modèle de définition de produit fini : relation formes – procédé

À l'instar des règles du dessin industriel où le dessin de définition terminal est en réalité le dessin de définition de produit fini intégrant le procédé de réalisation, le modèle terminal correspond au modèle de produit fini. On peut donc montrer comment, à partir du même volume fonctionnel, suivant le procédé d'obtention du brut envisagé, on pourrait aboutir à des formes extérieures différentes (Fig. 1.42).

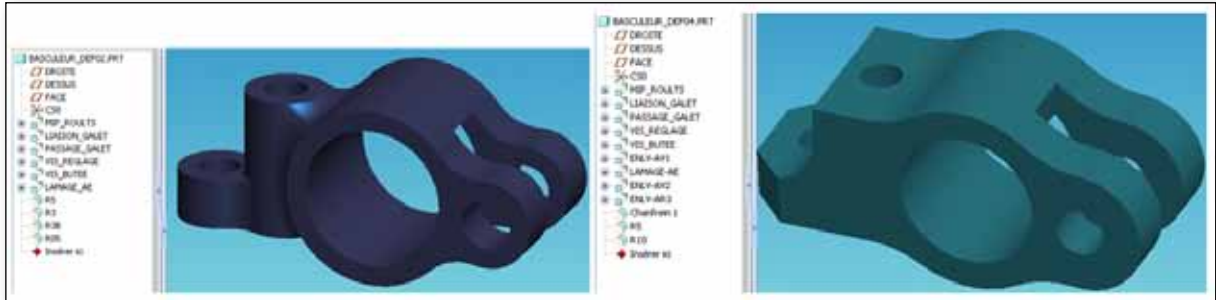


Fig. 1.42. Basculeur obtenu par moulage (figure de gauche) ou par usinage dans la masse (figure de droite)

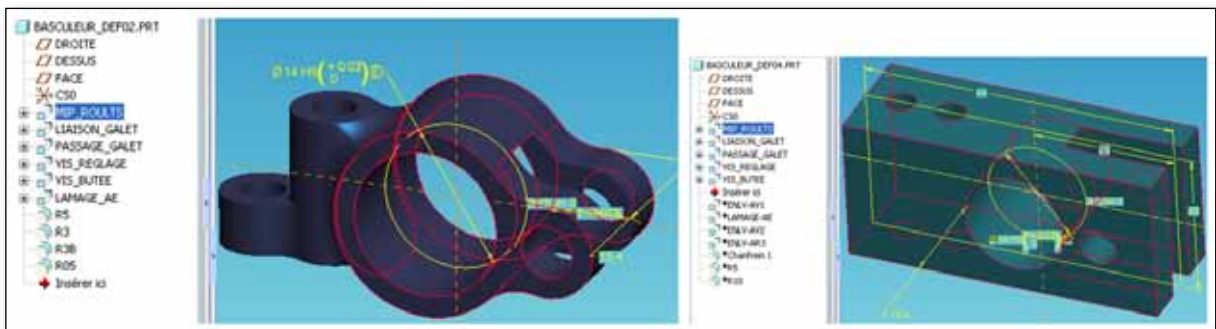


Fig. 1.43. Mise en évidence d'une même définition fonctionnelle pour les deux modes d'obtention

On remarque (Fig. 1.43) que les cotes fonctionnelles restent inchangées.

On peut ainsi illustrer, même sommairement, un aspect incontournable de l'analyse structurelle, présent dans tous les référentiels, y compris celui du bac pro MVA : la relation produit / procédé / matériaux.

Le modelleur, au travers de ses modules associés, ici celui de fabrication, peut permettre de visualiser une simulation d'usinage et vérifier l'influence de certaines formes, par exemple ici les rayons de raccordement liés au diamètre de l'outil (Fig. 1.44). On retrouve ici tout l'intérêt de la chaîne numérique avec des liens importants entre les différentes étapes du cycle de vie du produit.

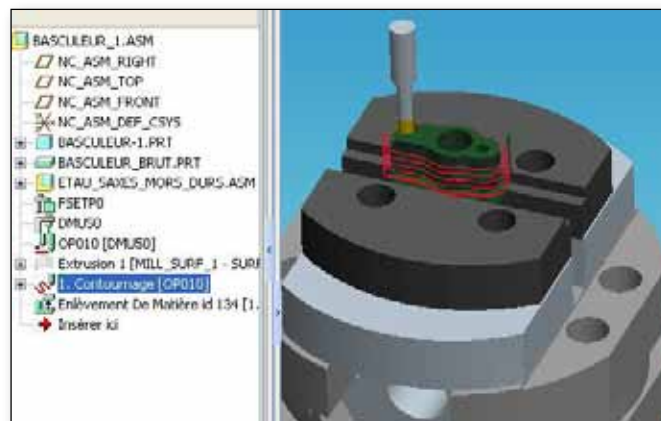


Fig. 1.44. Simulation d'usinage du basculeur



## → F. LES OUTILS DE SIMULATION MECANIQUE

Il existe une multitude d'outils de simulation parfois très spécialisés en fonction de la difficulté à simuler la réalité : logiciels de simulation mécanique, logiciels d'analyse vibratoire, logiciels d'analyse des chocs, logiciels de dimensionnement par éléments finis... Les logiciels basés sur des modèles de plus en plus élaborés sont utilisés en bureau de calcul par des opérateurs dont la formation est très pointue. Une autre utilisation industrielle des logiciels de simulation est celle de la conception préliminaire pendant laquelle le technicien s'appuie sur les outils de simulation pendant la phase de conception du produit. Ces derniers s'appuient sur des modèles plus simples et donc moins performants mais sont plus rapides et surtout sont associés directement aux choix de conception. Ce chapitre concerne exclusivement ces outils de simulation.

Le programme de construction du bac Pro MVA intègre en regard de l'analyse fonctionnelle et structurale et de la représentation d'un élément ou d'un mécanisme le comportement des systèmes mécaniques. L'analyse des comportements au travers des outils de simulation constitue un des aspects fondamentaux de l'utilisation du modelleur volumique participant à la notion de chaîne numérique (Fig. 1.1).

Sans faire une présentation exhaustive des modules de simulation associés au modelleur, nous allons présenter en quoi ces outils, au travers d'une mise en œuvre pertinente, peuvent répondre à un double objectif de l'enseignement de construction en maintenance des véhicules automobiles :

- l'utilisation clairement affirmée et récurrente du modèle numérique dans l'apprentissage des savoirs liés au comportement des systèmes mécaniques,
- le lien de cet enseignement de construction avec le cœur du métier de la MVA correspondant au diagnostic.

### → a. Introduction

#### • 1. La simulation

La simulation numérique permet d'appliquer sur la maquette numérique les lois de la mécanique en fonction d'un objectif visé : recherche d'un effort, recherche d'une trajectoire, vérification d'un dimensionnement... Les outils de simulation s'appuient sur des modèles de comportements. Plus les modèles utilisés s'éloignent du comportement réel, plus les résultats obtenus seront éloignés de la réalité et donc contestables.

Nous avons vu dans un premier temps en quoi le modèle numérique pouvait constituer une image la plus fidèle possible du réel. Les outils de simulation habituellement intégrés à tout modelleur sont associés à la simulation du fonctionnement ou du comportement. Leur utilisation commence lorsque l'observation ou l'analyse du comportement observé ne dépend pas uniquement des caractéristiques géométriques des composants modélisés. Cette observation induit alors quelques commentaires :

- Dans tous les cas, la relation modèle / réel est essentielle. Elle est d'autant plus importante ici que les notions et les phénomènes abordés sont moins tangibles : s'il semble aisé d'identifier les particularités d'un modèle comportant des interférences, des pièces manquantes ou des dimensions erronées, il est plus difficile de valider instantanément la valeur d'une vitesse, d'un effort ou d'une contrainte donnée par un outil de simulation.
- La frontière entre le modèle géométrique et la simulation peut sembler parfois assez floue car certains des outils de simulation sont intégrés dans le module de base de tous les modelleurs, par exemple concernant les analyses de masse et/ou de mouvement. Mon modèle peut être géométriquement correct, cela ne m'interdira pas une erreur d'analyse si :
  - je n'ai pas correctement défini la masse volumique de tous les composants,
  - je me suis trompé dans la définition de mes liaisons d'assemblage lors de l'animation.

Ainsi le technicien sait que la validité du modèle numérique passe d'abord par l'exactitude du modèle géométrique. L'analyse comportementale, souvent réalisée dans le milieu industriel par le bureau de calculs, s'appuie sur cette qualité géométrique.

→ *Remarque : cette proximité donne l'occasion de rappeler que la construction et la mécanique ne sont pas des matières différentes.*

### • 2. Les étapes de la simulation

L'utilisation d'un outil de simulation s'intègre complètement dans celle du modeleur volumique (environnements numériques identiques). La difficulté est avant tout conceptuelle et méthodologique, l'aspect calculatoire étant entièrement résolu par l'outil. Ainsi, l'outil de simulation permet de nous centrer sur deux étapes fondamentales de l'étude d'un comportement, qui sont souvent laissées de côté par l'enseignant : l'étape de modélisation et l'étape d'interprétation des résultats. Ces deux étapes imposent un questionnement qui peut prendre tout son intérêt lors d'une phase d'apprentissage :

- quel est le phénomène analysé et quel est donc l'outil approprié ? (choix du type de modélisation)
- quelles sont les données d'entrée correspondant à mon étude (grandeur, valeur, unité, ...) et comment les définir correctement ? (choix de la modélisation)
- les résultats obtenus sont-ils pertinents et/ou cohérents ? Quelle interprétation puis-je en faire ? (interprétation des résultats)

L'utilisation d'un module de simulation apparaît comme une continuité logique si les points clés associés à ces 3 aspects ont été soulignés à tout instant.

Nous avons également évoqué lors de la présentation du modeleur, la nécessité de connaître et/ou de préciser les limites de la modélisation associée (solides indéformables, géométrie parfaite...). Par analogie, l'utilisation d'un outil de simulation nécessite la connaissance du type et du niveau d'analyse souhaités ou envisagés. Ce qui induit :

- une connaissance suffisamment précise du phénomène étudié et donc la possibilité de formuler même succinctement l'objectif de l'étude (« *je veux vérifier l'amplitude du mouvement* », « *je souhaite valider la résistance de tel composant soumis à tel chargement* », ...),
- la connaissance de l'outil approprié à cette étude, de ses précautions d'utilisation et de ses limites : par exemple en dimensionnement, l'outil ne sera pas le même suivant que l'on souhaite avoir une idée de la zone la plus chargée ou valider le comportement d'une pièce,
- la mise en place d'évaluations intermédiaires, suivant mes compétences et mon expérience (retour sur le réel) pour être en mesure de valider le résultat final.

Pour un élève, cette interprétation des résultats est une étape essentielle car elle mobilise l'ensemble des savoirs et démarches abordées et développe un regard critique sur les notions abordées (hypothèses, limites d'études...).

→ *Remarque : l'enseignant doit s'assurer que la représentation graphique des résultats obtenus ne constitue pas un obstacle supplémentaire pour l'élève.*

Par la suite, nous présentons très succinctement les 2 outils habituellement intégrés au modeleur et correspondant au domaine classique du technicien de génie mécanique (et qui correspondent à une partie du programme de tous les référentiels de STI) : la simulation mécanique et le prédimensionnement.



### → b. La simulation mécanique

Si l'outil associé reste le même, cette partie est scindée en 2 : la simulation cinématique et la simulation dynamique.

#### • 1. La simulation cinématique

Cette utilisation apparaît évidente dès lors qu'elle intervient après la simulation du fonctionnement et l'identification des mouvements. Le seul paramètre supplémentaire étant alors le temps. Tout modelleur disposant d'un tel outil de simulation utilise directement l'organisation du modèle : organisation en ensembles cinématiquement équivalents et/ou utilisation des liaisons cinématiques. Il est donc essentiel de rappeler, s'il en était besoin, l'importance d'une organisation fonctionnelle des assemblages (Fig. 1.45).

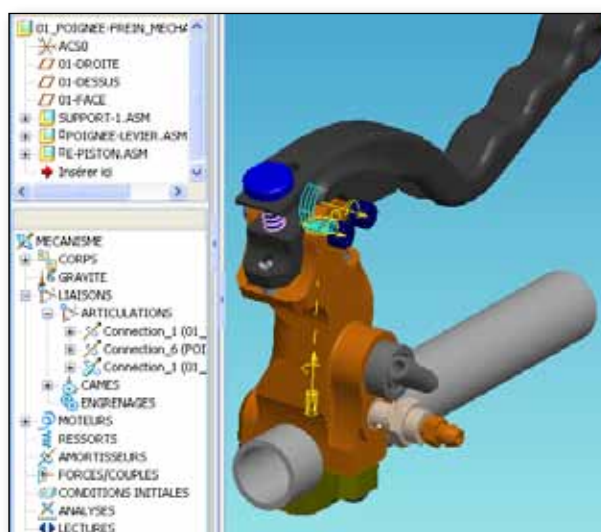


Fig. 1.45. Organisation du modèle pour l'étude de simulation

→ Remarque : si bien évidemment on ne peut simuler le fonctionnement que si le mécanisme possède une mobilité, le calcul sera grandement facilité si le mécanisme est isostatique et ne comporte pas de mobilités surabondantes.

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

- La définition des données

Si le modèle est donc correctement organisé, la seule donnée concerne la définition du « moteur cinématique » associé à la liaison choisie comme entrée (Fig. 1.46) :

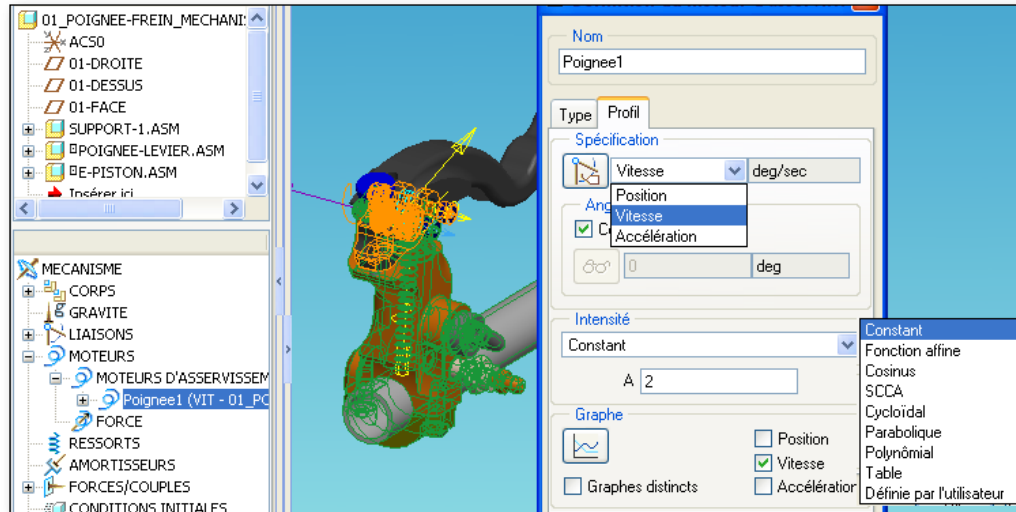


Fig. 1.46. Données d'entrée de la simulation cinématique

Dans l'exemple ci-dessus, correspondant à la rotation de la poignée comme paramètre d'entrée, on a défini :

- la position initiale : ici dans la position courante du mécanisme (qui a donc été initialement configuré dans cette position),
- un mouvement à vitesse uniforme de  $2^\circ/s$ .

→ Remarque : ce temps de simulation n'a aucun lien avec la durée réelle de la visualisation, que l'on peut à souhait modifier (possibilité de changer la vitesse de visualisation) (Fig. 1.47).

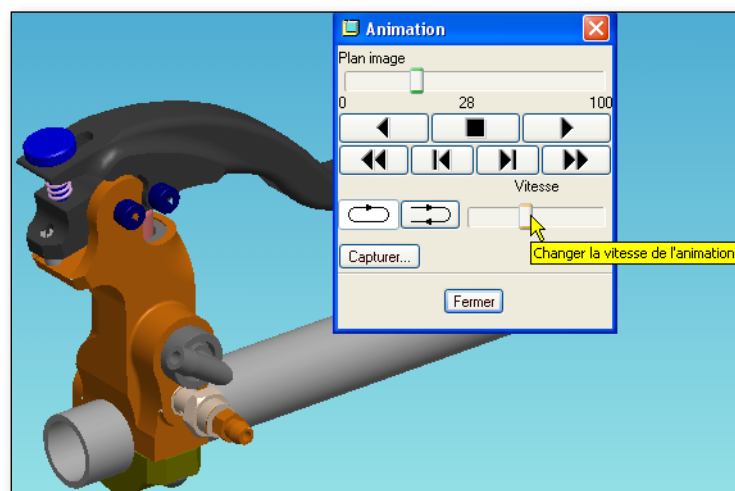


Fig. 1.47. Changement de la vitesse de visualisation

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

### - L'interprétation des résultats

Outre la visualisation du mouvement, il est possible d'obtenir tous les résultats compatibles avec le calcul effectué (Fig. 1.48).

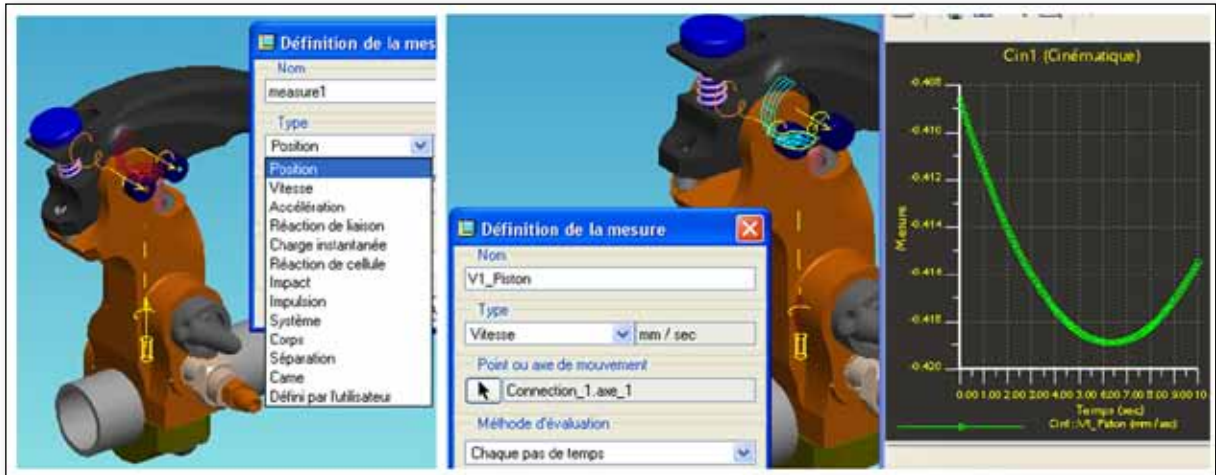


Fig. 1.48. Résultat associé à la vitesse du piston par rapport au corps

→ Remarque : l'interprétation des résultats n'est pas toujours évidente pour celui qui n'a pas créé la simulation. Par exemple ici, la courbe traduit l'évolution de la mesure algébrique de la vitesse linéaire du piston pour une vitesse de rotation constante du levier. Il sera donc nécessaire pour l'enseignant de faire preuve d'une grande clarté lorsqu'il travaille avec ses élèves par exemple sur l'interprétation d'une courbe.

L'association des différents modes de représentation des résultats permet de faciliter leur interprétation et, du point de vue pédagogique, d'illustrer certaines caractéristiques cinématiques. On observe par exemple que le vecteur vitesse d'un point de la poignée conserve une norme constante et reste tangent à la trajectoire au cours du mouvement (ce qui correspond à un savoir à enseigner) (Fig. 1.49).

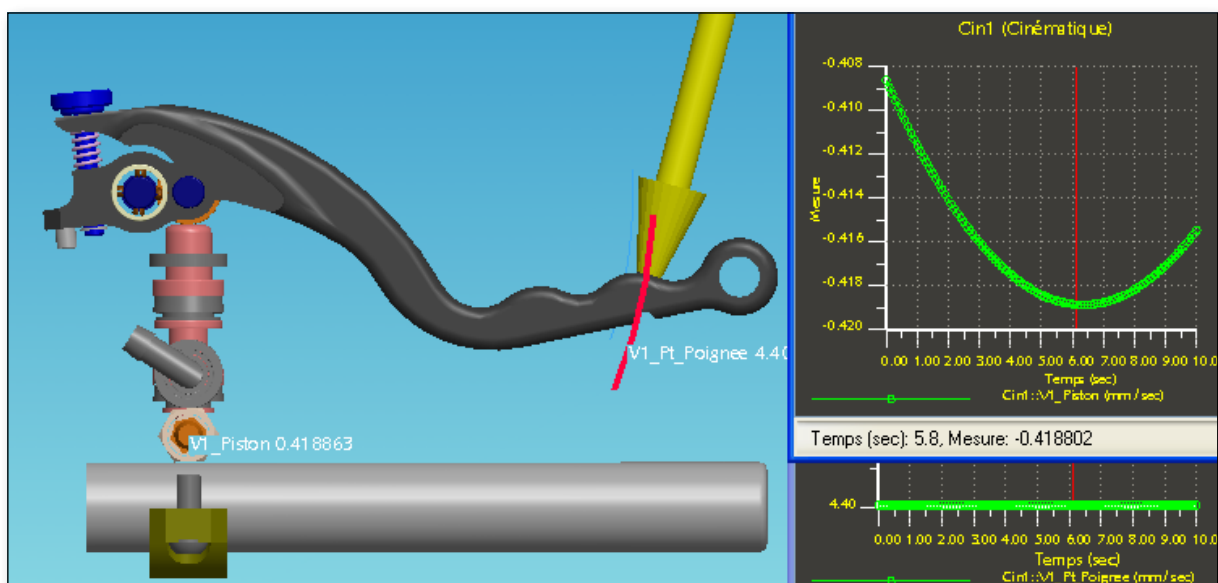


Fig. 1.49. Visualisation du vecteur vitesse d'un point de la poignée par rapport au corps au cours du mouvement

## • 2. La simulation dynamique

La transition directe entre la simulation cinématique et la simulation dynamique n'est pas surprenante pour un mécanicien averti car la statique n'est qu'un cas particulier de la dynamique. On ne trouve donc pas de module particulier dans les outils de simulation correspondant à une étude habituelle de statique. La détermination des efforts, essentielle pour toute étude de dimensionnement, n'est alors possible qu'en utilisant le module de dynamique.

### - Quelques précautions

Tout problème de dynamique étant lié à la masse et à l'accélération, il faut donc s'assurer :

- que les masses volumiques soient correctement définies pour tous les solides : attention aux unités (par ex. sous Pro/E la masse volumique par défaut de 1 ... correspond à 1 tonne /mm<sup>3</sup>)
- que les vitesses de déplacement soient correctes si elles sont connues, ou choisies suffisamment faibles pour ne pas induire d'accélération erronées.
- que la pesanteur, qui n'est pas automatiquement prise en compte, soit correctement définie si nécessaire : il faut vérifier sa direction et son sens.

### - La définition des données

Comme pour un problème de dynamique classique, il nous faut définir toutes les actions extérieures au mécanisme connues (par exemple ici l'action du pilote sur la poignée supposée constante en direction du sens et de la norme) (Fig. 1.50).

Il faut également définir l'action de la pesanteur ainsi que le comportement des liaisons (liaison parfaite ou avec frottement, caractérisation des ressorts...).

→ *Remarque : c'est bien là et uniquement dans ce type d'études que le comportement d'un ressort est important à visualiser et à caractériser.*

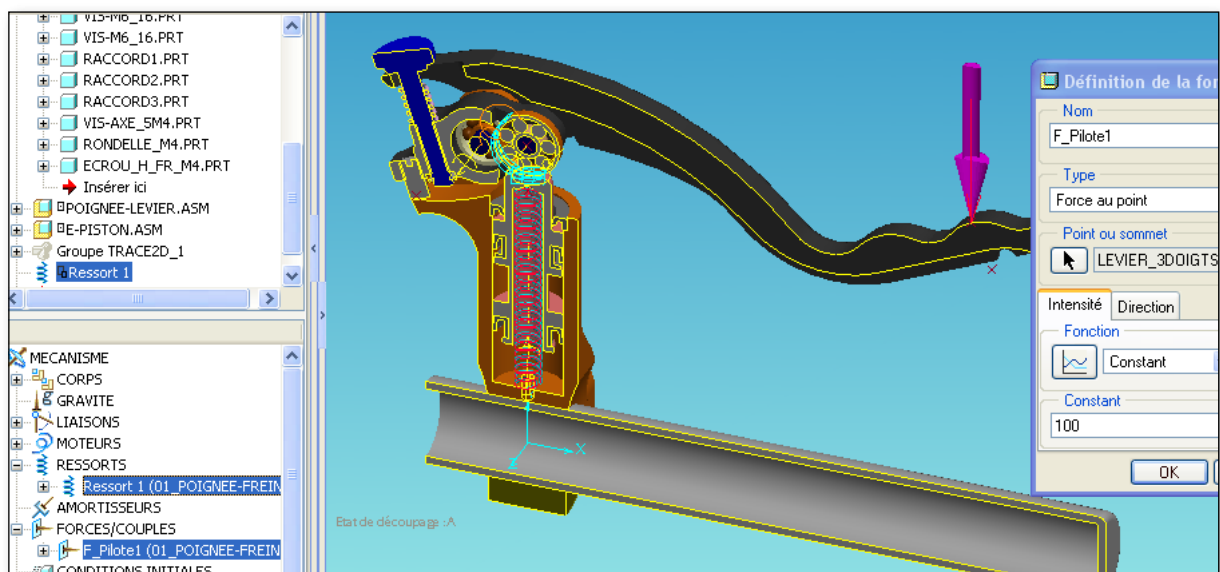


Fig. 1.50. Données d'entrée de la simulation dynamique

On peut également motoriser une liaison en définissant par exemple un couple moteur ou l'action d'un vérin linéaire.

## - Étude d'un comportement quasi-statique

La simulation d'un fonctionnement peut alors être obtenue à partir d'un pilotage (ou d'une motorisation) :

- cinématique seul : c'est le cas de l'étude cinématique vue précédemment ;
- uniquement par les efforts : on pourra alors chercher à simuler au mieux le réel (non étudié ici) ;
- en combinant les 2 : on peut alors, en choisissant des vitesses de déplacement suffisamment réduites, et/ou en étudiant un mouvement quasi-uniforme, se ramener à une étude quasi-statique.

C'est ce qui est réalisé pour obtenir le résultat ci-dessous (Fig. 1.51) : en définissant un moteur cinématique correspondant à une vitesse constante du piston, on peut déterminer l'action dans cette liaison qui correspond à l'effort axial de l'action de l'huile sur le piston pour que le piston se déplace à vitesse uniforme. On obtient alors la courbe de l'évolution de cet effort pour les différentes positions.

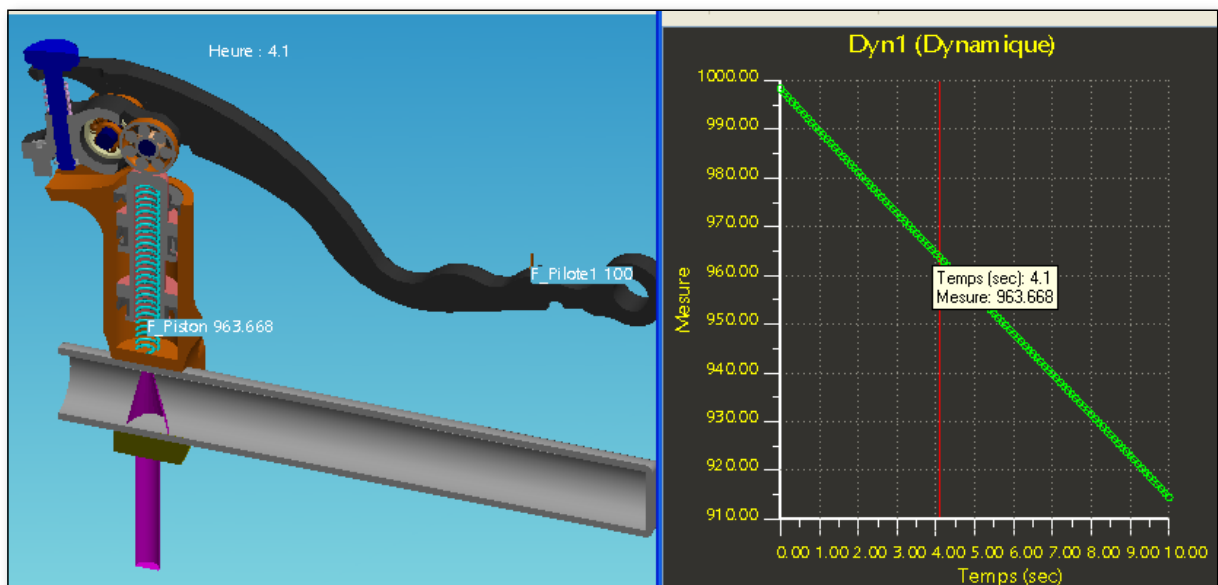


Fig. 1.51. Effort exercé par l'huile sur le piston lors du mouvement

On pourrait valider rapidement le résultat par une vérification analytique très simple. En effet, lorsque l'action du pilote est supposée de direction fixe, l'ensemble levier est soumis à 3 forces parallèles (Fig. 1.52) ce qui rend la résolution analytique plus aisée. Une mesure des différents bras de levier et de la longueur du ressort (longueur initiale = 70 mm – raideur = 2 N/mm) permet d'obtenir un résultat tout à fait similaire dans cette position :

$$F_{\text{piston}} = 100 \times (120,071 / 11,9856) - 2 (70 - 50,9382) = 93,67 \text{ N}$$

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

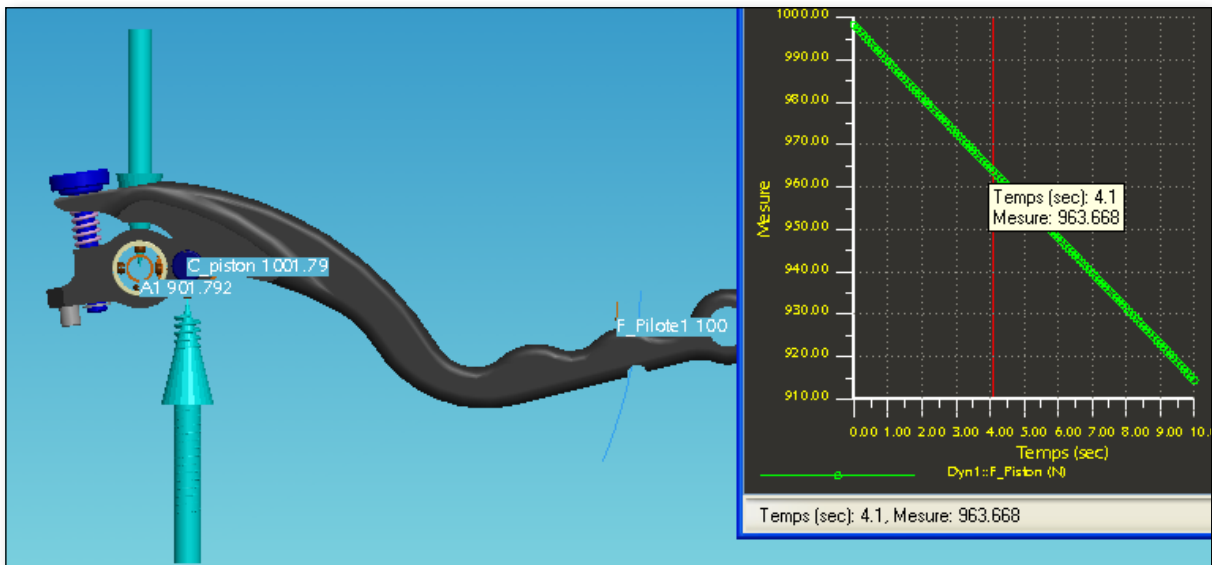


Fig. 1.52. Effort exercé par l'huile sur le piston dans une position particulière

L'étude dynamique permet également d'analyser l'influence de certains paramètres :

- Influence de la raideur du ressort (Fig. 1.53) : par cette étude on retrouve que l'action du piston sur le levier a la même norme que l'action du fluide sur le piston lorsque la raideur du ressort est égale à zéro.

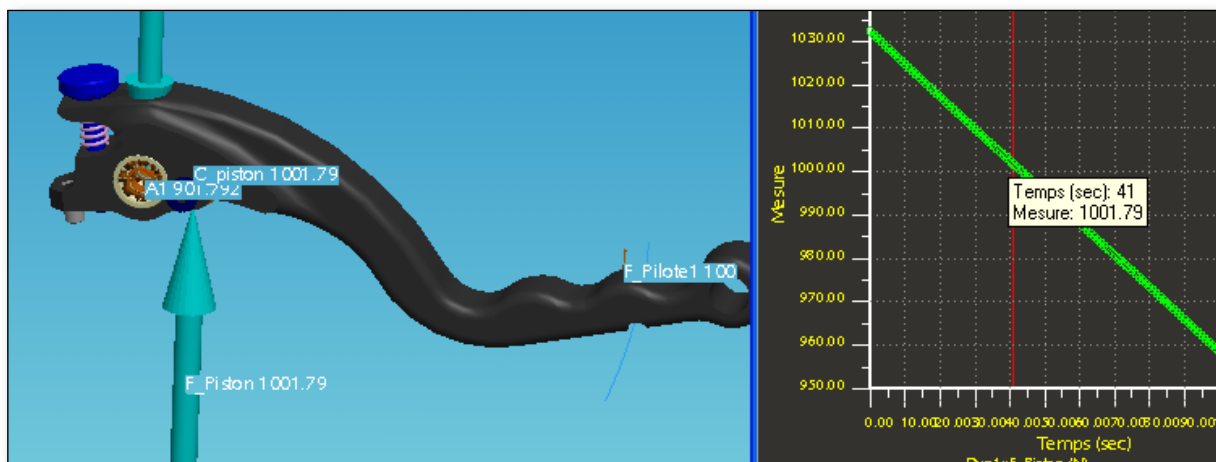


Fig. 1.53. Effort exercé par l'huile sur le piston sans ressort

- Influence de la direction de l'action du pilote par rapport au levier (Fig. 1.54) :

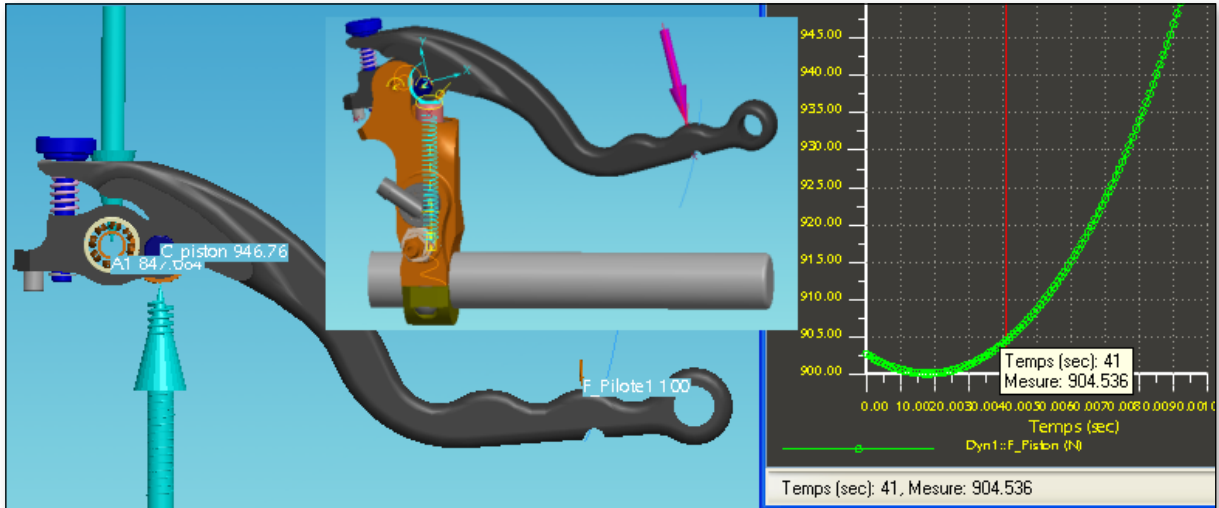


Fig. 1.54. Effort exercé par l'huile sur le piston pour une action du pilote «optimale»

### → c. Le prédimensionnement

Les logiciels de dimensionnement intégrés aux outils de CAO sont de plus en plus accessibles et constituent une aide précieuse pour le technicien de bureau d'études. Ils n'en demeurent pas moins des outils très complexes qui demandent une utilisation prudente, raisonnée, basée sur les connaissances fondamentales de la résistance des matériaux (RdM). Pour l'enseignant de construction dans les filières maintenance des véhicules automobiles, ils constituent des outils pédagogiques pertinents car ils permettent de justifier l'étude statique pour mesurer l'influence des efforts sur la résistance d'une pièce ou sur sa déformation. Les savoirs abordés alors sont ceux liés à la résistance des matériaux.

#### • 1. Quelques précautions

Le logiciel de dimensionnement intégré au modelleur volumique utilise des modèles souvent simplifiés, basés sur une discrétisation de la pièce en petits éléments (d'où l'appellation « logiciel d'éléments finis »). Cette discrétisation est ici automatique, ce qui rend la précision du calcul parfois limitée. Cette précision est garantie lorsque les différences de contraintes dans la pièce sollicitée sont faibles, ce qui est le cas loin des zones d'application des efforts et loin des accidents de forme.

Dans l'interprétation des résultats obtenus, nous nous situons systématiquement loin des zones de chargement. Concernant les zones d'accidents de forme, les résultats seront utilisés qualitativement en comparant par exemple l'impact d'un rayon de courbure sur la résistance de la pièce.



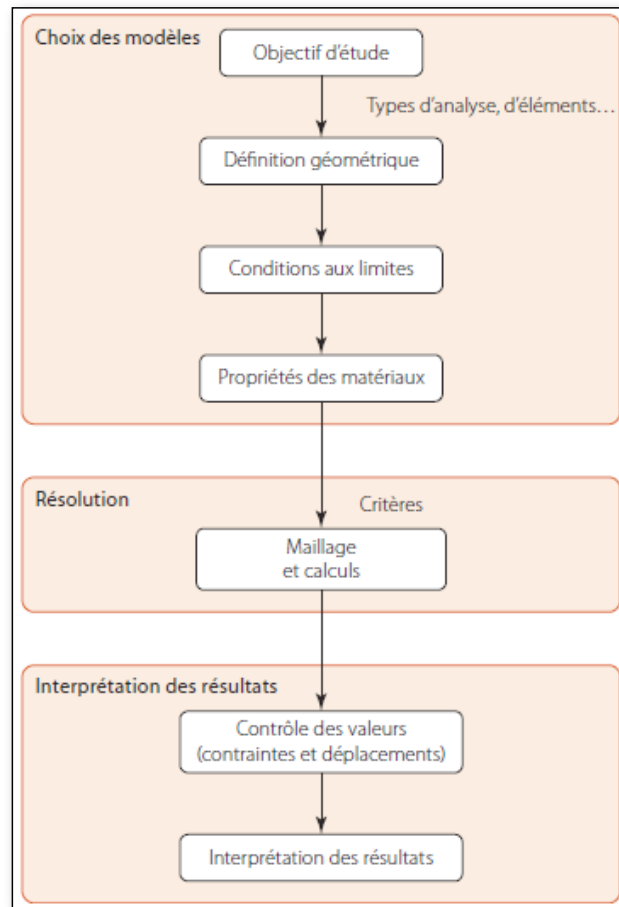


Fig. 1.55. Démarche d'un calcul de dimensionnement sur logiciel CAO

La démarche d'utilisation d'un outil de dimensionnement comporte trois phases : la définition des données (choix des modèles), le maillage de la pièce et le calcul, l'interprétation des résultats (Fig. 1.55). La partie calcul utilise une approche énergétique dont la théorie est complexe et sort largement du cadre de l'enseignement bac+2. L'opérateur n'a pas d'action lors de cette phase de calcul. Il est juste utile qu'il connaisse les modèles utilisés et leurs limites (comportement élastique, matériau homogène et isotrope...).

## • 2. La définition des données

L'outil de dimensionnement est utilisé pour vérifier le dimensionnement d'une pièce ou pour regarder l'influence des différents paramètres sur sa résistance ou sa rigidité. Cette première partie de définition des données peut se décomposer en trois phases (Fig. 1.55).

### - Matériau de la pièce

La première phase consiste à isoler la pièce considérée, objet de l'étude, et à préciser quel est son matériau, ce qui permet de fixer ses caractéristiques mécaniques (Fig. 1.56).

→ *Remarque : dans l'exemple de la poignée de frein de moto, nous proposons de vérifier le dimensionnement du levier de la poignée suite à un choc latéral.*

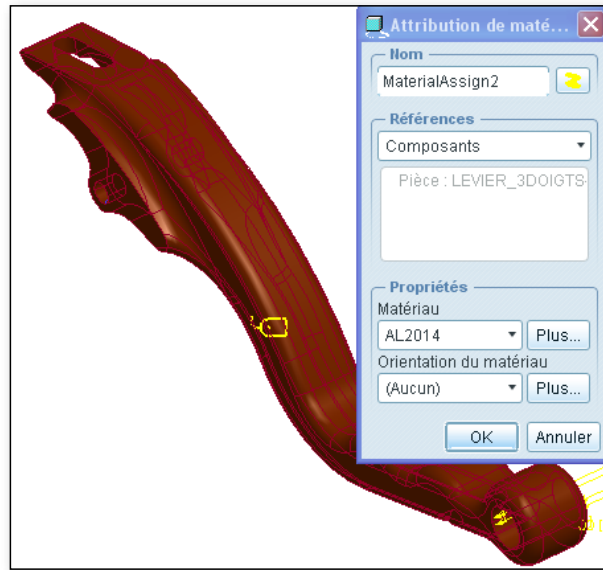


Fig. 1.56. Levier de la poignée de frein de moto – Définition du matériau

## - Déplacements imposés

La deuxième phase consiste à définir les conditions aux limites en termes de déplacements. La définition des conditions aux limites s'appuie principalement sur la modélisation des liaisons mécaniques. Dans un cas général, l'opérateur est amené à bloquer des points, appelés nœuds, suivant les trois directions. Il est possible d'imposer le blocage d'un nœud suivant une, deux ou les trois directions.

→ *Remarque : dans des logiciels élémentaires, l'opérateur bloque directement des surfaces. Cela est plus simple mais offre moins de souplesse. Dans ce cas, la correspondance avec le réel est plus délicate et parfois contestable.*

Cette phase doit respecter trois règles importantes :

- Règle 1 : La pièce étudiée doit être entièrement contrainte (il ne reste pas de mouvement possible).
- Règle 2 : Comme pour toute modélisation, on doit s'efforcer de se rapprocher des déplacements réels imposés par les liaisons. Ce rapprochement est plus ou moins aisé suivant la pièce étudiée.
- Règle 3 : On utilise, lorsqu'elles existent, les symétries géométriques et de chargement.

Sur le levier, on peut raisonnablement admettre que l'effort appliqué sera intégralement repris par la liaison pivot entre le levier et la poignée. On choisit donc de bloquer l'ensemble des nœuds de la portée cylindrique du levier (Fig. 1.57).

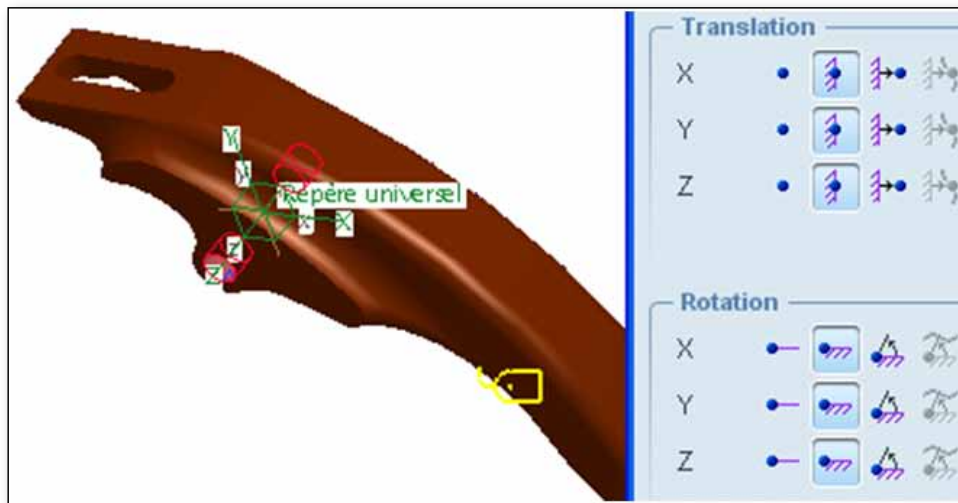


Fig. 1.57. Blocage des nœuds de la portée cylindrique du levier

### - Efforts imposés

La troisième phase consiste à définir les conditions aux limites en termes d'efforts. Cette définition s'appuie principalement sur la modélisation des actions mécaniques.

Dans le cas de contacts, le chargement des nœuds s'effectue par l'intermédiaire d'une force de composantes X, Y et Z suivant les trois directions ou des pressions de contact sans frottements (Fig. 1.58). Les modèles de charges réparties dépendent du type de contact mais sont le plus souvent éloignés des charges réelles.

Lorsque l'opérateur choisit un modèle de chargement, le logiciel le traduit en répartissant les charges sur les différents nœuds. Il est alors bien évident que le résultat dépend du maillage, en particulier du nombre de nœuds sur la surface apparente de contact, d'où l'importance des précautions présentées dans le paragraphe 2.C.1 sur l'interprétation des résultats loin des zones de chargement.

Dans le cas de la poignée de frein, l'effort accidentel est défini par le cahier des charges. Il est appliqué à l'extrémité du levier, perpendiculairement au plan de face (Fig. 1.58).

→ *Remarque : comme pour les conditions aux limites en termes de déplacements, plusieurs modélisations d'action mécanique sont proposées en fonction du logiciel utilisé. Les logiciels les plus simples (qui sont également les moins performants) offrent des choix plus limités mais qui peuvent suffire étant donné l'objectif pédagogique recherché.*

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

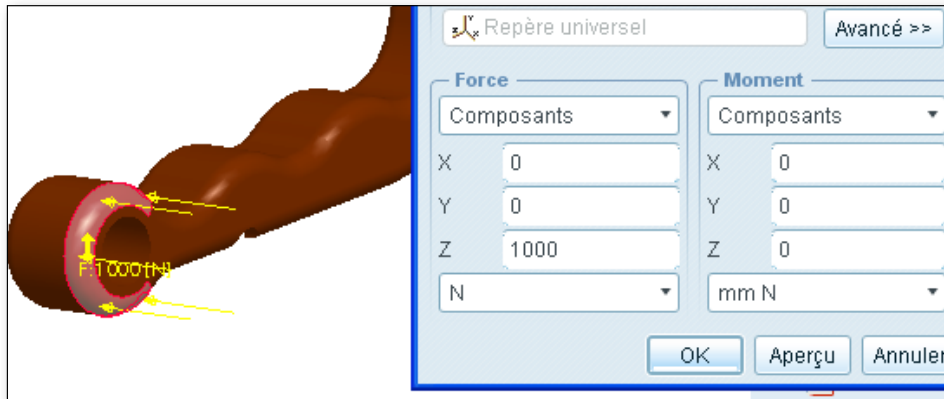
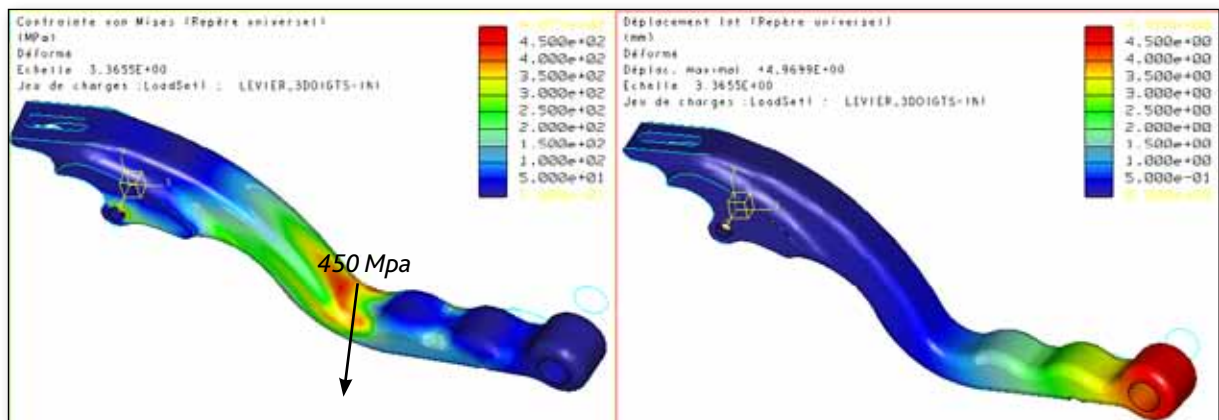


Fig. 1.58. Effort appliqué sur le levier

Les trois phases de définition des données sont suivies d'une partie calcul plus ou moins longue suivant le logiciel utilisé et suivant la pièce étudiée. Pour l'enseignant, il est recommandé d'utiliser des pièces simples, ce qui permet de limiter le temps de calcul à quelques secondes.

### • 3. L'interprétation des résultats

Pour le technicien, l'interprétation des résultats d'un logiciel de prédimensionnement passe par une validation des résultats obtenus tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif. Cette phase indispensable évite des erreurs grossières comme celles liées à une donnée d'entrée erronée (qui peut être due à un problème d'unité) ou des conditions aux limites trop éloignées de la réalité.



Répartition des contraintes sur le levier

Répartition des déplacements sur le levier

Fig. 1.59. Résultats d'un logiciel de dimensionnement

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

Ensuite, il s'agit de choisir les grandeurs de sortie utiles. Sur les outils CAO les plus simples d'utilisation, les logiciels nous donnent le choix entre une visualisation d'une contrainte équivalente de Von-Mises (correspondant à un critère de résistance) et la visualisation d'un champ de déplacement (correspondant à un critère de rigidité) (Fig. 1.59).

Sur l'exemple du levier, on observe bien que les déplacements maximum se situent à l'extrémité du levier.

Par ailleurs, les contraintes maximales sont observées dans la zone du levier qui présente un accident de forme plus prononcé. Ainsi, si la pièce doit casser, la rupture se produira dans ces zones de contraintes les plus élevées. L'intérêt pédagogique pour l'enseignant est alors évident, car la notion de rupture n'est pas toujours facile à mettre en évidence sur le système réel.

→ *Remarque : dans le cas du levier, le concepteur a recherché cette zone de fragilité afin d'éviter que la liaison avec la poignée soit endommagée lors d'un choc, ce qui aurait été beaucoup plus coûteux.*

Si l'opérateur modifie la forme du levier, notamment le rayon de courbure dans la zone la plus fortement sollicitée, les résultats montrent que le champ de déplacements n'est quasiment pas influencé, ce qui semble logique, et que les contraintes équivalentes observées dans cette zone sont largement diminuées. Dans la zone contrainte, le rayon de courbure passe d'une valeur de 11 mm sur la Fig. 1.59 à une valeur de 20 mm sur la Fig. 1.60. Les contraintes maximales observées dans cette zone passent alors d'environ 450 Mpa à environ 350 Mpa.

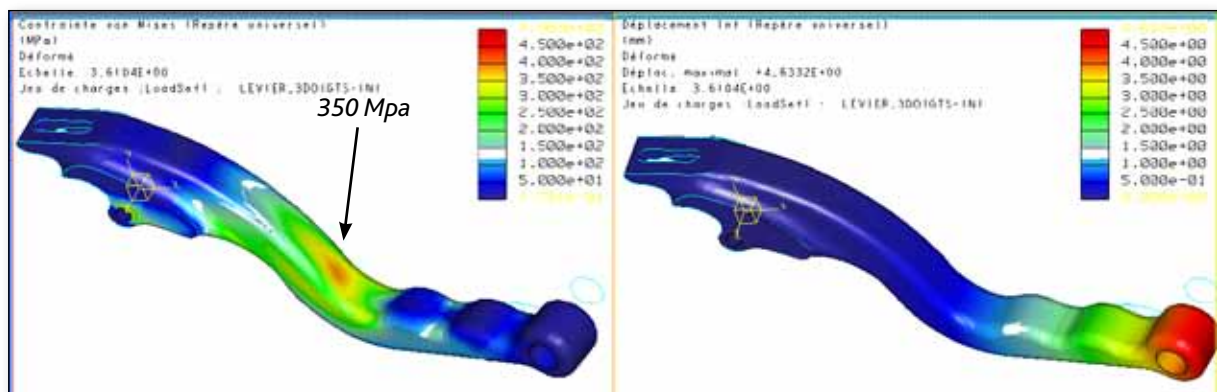


Fig. 1.60. Résultats d'un logiciel de dimensionnement en modifiant le rayon de courbure

→ *Remarque : pour cet exemple, on constate qu'il existe des contraintes importantes au niveau de la liaison entre le levier et la poignée. Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe « Précautions à prendre », l'interprétation de ces valeurs est délicate car nous nous situons proches des zones de conditions aux limites.*

## • 4. Intérêt pédagogique et conséquences

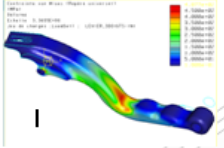
L'exemple précédent montre très simplement le lien entre les formes de la pièce et son comportement. Cette mise en évidence s'avère beaucoup plus délicate sans l'outil CAO. Ainsi, le modelleur volumique constitue un outil pédagogique efficace pour aborder la relation produit-procédé-matériau et le lien avec le cours de résistance des matériaux. Par ailleurs, l'apprentissage des sollicitations simples peut être grandement facilité avec plusieurs utilisations possibles de l'outil :

- Le champ des déplacements toujours accessible sur le modelleur volumique permet de visualiser pour chaque sollicitation simple l'allure de la déformée associée (état déformé de la pièce).
- Le champ des contraintes peut être visualisé à l'intérieur de la pièce. On peut constater par exemple que ce champ de contraintes est uniforme pour une sollicitation de traction.
- Les hypothèses de la RDM et les limites du modèle peuvent être mises en évidence. En effet, on constate que les résultats obtenus ne sont plus forcément valables lorsqu'on se situe proche des zones d'application des efforts (Principe de Saint-Venant) ou proche des accidents de forme (notion de concentration de contraintes).

Ce potentiel pédagogique du modelleur volumique pour aborder la résistance des matériaux impose cependant à l'enseignant une certaine vigilance :

- Il doit prendre en compte les précautions énoncées ci-dessus.
- La notion de contrainte équivalente de Von-Mises n'est pas explicitement au programme, donc il est amené à la définir très simplement (Fig. 1.61).

**Contraintes équivalentes de Von-Mises**
**RDM**



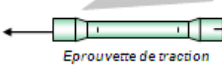
**Pièce d'un mécanisme**

Chaque point d'une pièce chargée subit un état de contraintes. Cet état de contraintes est très variable suivant l'endroit où on se situe sur la pièce, suivant la géométrie et suivant le chargement extérieur.

Il est également très complexe.

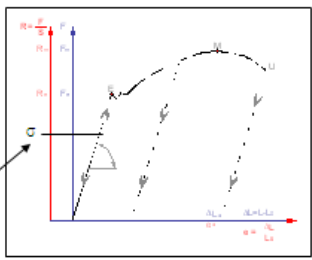
- On peut observer des contraintes dans toutes les directions autour du point.
- Ces contraintes provoquent autour du point soit de l'extension ou de la compression, soit du cisaillement.

**Qu'est ce qui permet d'établir un lien entre la contrainte dans l'éprouvette de traction et l'état de contraintes dans une pièce quelconque ?**



**Epreuve de traction**

La grandeur qui sert de référence est la contrainte



**Essai de référence**

**Critère** On définit une contrainte équivalente  $\sigma_{equi}$  telle que l'état de la pièce présente le même danger que l'éprouvette de traction soumise à  $\sigma_{equi}$ . La contrainte équivalente de Von-Mises est la plus utilisée dans le cas des pièces en acier car c'est elle qui donne les résultats les plus fiables.

On peut alors écrire :

$\sigma_{equi} \leq \sigma_{adm}$

$\sigma_{adm} = \frac{R_e}{\alpha}$

← Limite élastique du matériau

← Coefficient de sécurité ou d'incertitude (il est donné par le constructeur suivant l'étude menée)

Fig. 1.61. Exemple de document « élève » présentant la contrainte équivalente

## 2 — [ LES POTENTIALITES PEDAGOGIQUES DU MODELEUR VOLUMIQUE POUR L'ENSEIGNANT DE CONSTRUCTION ]

---

- La lecture des résultats et leur interprétation par les élèves est un exercice qui demande un apprentissage, d'où la nécessité d'une leçon présentant la démarche d'interprétation.

→ *Remarque : l'interprétation de résultats de logiciels d' « éléments finis » est déjà présente dans les examens de Bac Pro depuis quelques années.*

Cette partie a permis de présenter les caractéristiques du modelleur volumique utiles pour l'enseignant de construction mécanique exerçant dans les filières de maintenance des véhicules automobiles. Les fonctionnalités nécessaires pour construire l'activité ont été présentées en regard des savoirs techniques et démarches à enseigner. Il s'agit maintenant de façon plus concrète de montrer comment l'enseignant construit son enseignement en s'appuyant sur ces fonctionnalités.



Cette deuxième partie s'intéresse de façon concrète à l'élaboration et à la mise en œuvre de l'activité avec le modèleur volumique. Dans un premier chapitre, nous présentons les évolutions significatives liées à l'utilisation du modèleur. Ensuite, plusieurs séquences d'enseignement sont proposées en mettant en évidence l'intérêt d'une utilisation pertinente du modèleur volumique. Enfin, le dernier chapitre traite de la place du modèleur dans le dispositif d'évaluation.

## A. LA NECESSITE DE NOUVELLES PRATIQUES LIEES A L'UTILISATION DU MODELEUR VOLUMIQUE

Dans la partie introductive, nous avons présenté en nous basant sur le fascicule « *Repères pour la formation du Bac Pro MVA* » (Fig. 0.9) la façon dont les référentiels d'enseignement prennent en compte l'utilisation des modèleurs 3D et leur place prépondérante dans la majorité des savoirs abordés par l'enseignant de construction.

→ *Remarque : de nombreux sites académiques permettent d'accompagner l'enseignant de construction mécanique dans l'utilisation du modèleur volumique. Pour les professeurs enseignant dans les filières maintenance, on peut citer le site EDUCAUTO et le centre de ressources CNR-CMAO (figure 2.1). Cependant, jusqu'à présent, si on pouvait y trouver un grand nombre de maquettes numériques, ces sites ne proposaient pas une réflexion pédagogique sur l'évolution nécessaire de nos enseignements liés à leur utilisation. Un des objectifs de ce dossier technique est de combler ce manque.*



Fig. 2.1. Sites de référence <http://www.educauto.org/> <http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/>

Trois axes de réflexion principaux sont traités :

- L'articulation des enseignements de construction.
- L'évolution des savoirs abordés dans le centre d'intérêt « *Représentation du réel* ».
- L'apprentissage des savoirs fondamentaux à partir du modèle numérique, en particulier pour l'analyse d'un système mécanique.

### → a. L'articulation des enseignements de construction

Depuis déjà le début des années 90, l'enseignement en sciences et technologies industrielles a connu un profond bouleversement avec l'analyse descendante mise en application dans un premier temps dans les classes de 2nde TSA (Technologie des Systèmes Automatisés). L'enseignement de la construction mécanique s'appuyait sur l'analyse descendante en partant du système mécanique dans sa globalité pour progressivement focaliser sur les mécanismes élémentaires, sur les liaisons mécaniques, puis sur les pièces. Cette évolution devait permettre à l'enseignant d'aborder les notions fondamentales de la technologie mécanique dans toute leur complexité et avec davantage de cohérence.

Il y a vingt ans, l'apprentissage des codes de représentation 2D s'effectuait parallèlement en sens inverse. L'enseignant commençait l'apprentissage des codes de représentation 2D en partant d'une pièce simple, puis abordait des pièces avec des formes plus complexes pour finir sur des assemblages. Les premières semaines du cycle d'apprentissage étaient donc souvent consacrées à se familiariser avec les représentations planes au travers d'exercices de correspondance de vues bien peu passionnants et d'un intérêt technique très limité.

L'outil modèleur constitue une première révolution dans le sens où il permet à l'enseignant de concilier l'analyse descendante des systèmes mécaniques et l'apprentissage des outils de représentation technique (Fig. 2.2). L'enseignement jusque là était séquentiel dans la mesure où la compréhension du fonctionnement d'un système imposait des étapes préalables d'apprentissage des codes de représentation et de visualisation. Il peut être à présent simultané car la compréhension du fonctionnement arrive beaucoup plus tôt et permet alors d'aborder l'apprentissage des outils de représentation technique y compris sur un système complexe.

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

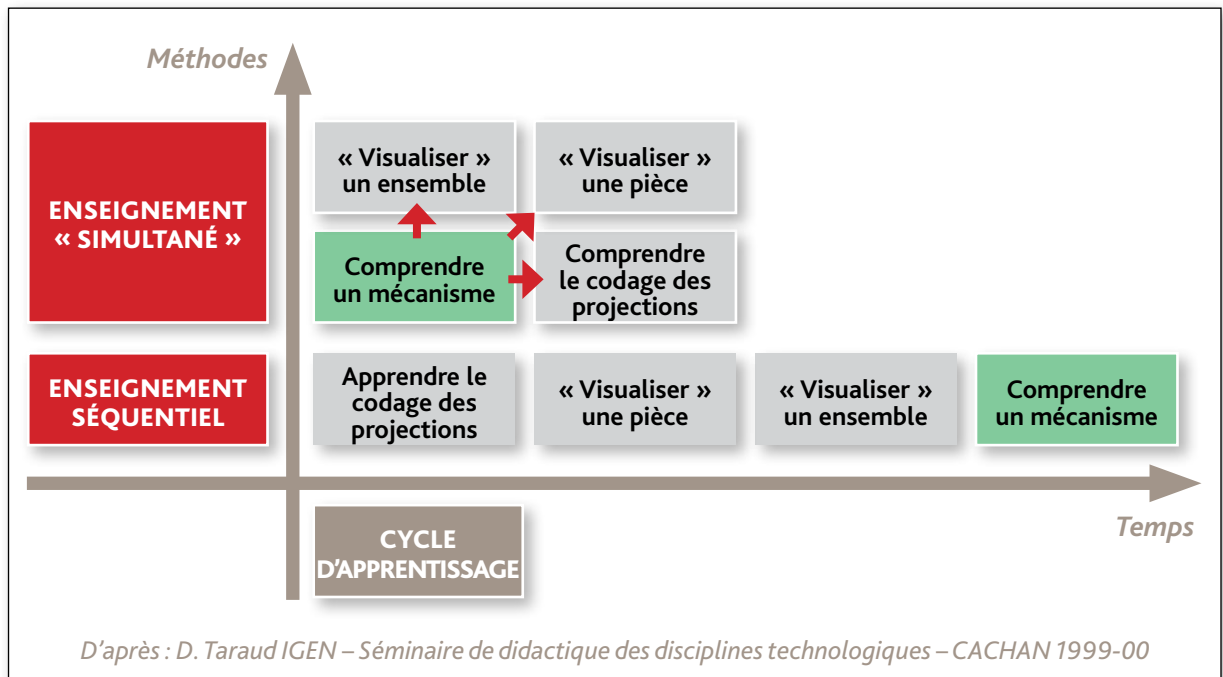


Fig. 2.2. Évolution d'un enseignement séquentiel vers un enseignement simultané

La réflexion souhaitée par l'Inspection Générale au niveau académique sur les centres d'intérêt a permis dans les équipes enseignantes de redéfinir l'organisation de l'enseignement sur un cycle d'apprentissage en tenant compte d'une part des approches inductives et d'autre part de l'utilisation des modeleurs volumiques. Le centre d'intérêt le plus caractéristique du changement de pratiques est sans doute la « *Représentation du réel* ». L'outil CAO permet en effet de traiter dès les premières séances de problèmes techniques conduisant à l'acquisition de savoirs liés à l'analyse des systèmes ou à la modélisation cinématique des liaisons.

→ *Remarque : pourtant, on peut regretter qu'un grand nombre d'enseignants continuent encore d'aborder les représentations 2D en tout début de cycle d'apprentissage en s'appuyant dans le meilleur des cas sur la maquette numérique pour expliquer les règles de représentations orthogonales.*

D'autre part, les savoirs relatifs au centre d'intérêt « *Représentation du réel* » sont maintenant plutôt abordés de manière continue en fonction des besoins et par petites touches progressives. Par exemple, la représentation des éléments filetés est abordée en regard de la liaison encastrement.

Un autre changement important dans l'articulation des enseignements de construction concerne les liens entre l'enseignement de mécanique et l'enseignement de technologie. Comme nous l'avons vu dans la première partie, la maquette numérique, au cœur de la chaîne numérique, porte toutes les informations concernant l'objet technique : caractéristiques mécaniques et géométriques, liaisons, matériaux, spécifications géométriques... Les modules de calcul associés aux outils CAO permettent alors d'accéder aux grandeurs mécaniques et de dimensionnement. Les liens entre les différentes notions abordées par l'enseignant sont alors grandement facilités (relation construction / maintenance, relation conception / statique / résistance des matériaux). L'enseignant de construction peut aborder des systèmes techniques de transmission de mouvements et les lois entrée-sortie cinématiques sur une même séquence pédagogique. Il en est de même pour l'analyse des liaisons et les actions mécaniques ou la définition fonctionnelle des pièces et la résistance des matériaux.

## → b. L'évolution des savoirs abordés dans le centre d'intérêt « Représentation du réel »

La lecture sur les référentiels des savoirs abordés dans le domaine de la représentation des pièces et des systèmes mécaniques fait apparaître des évolutions importantes (Fig. 2.3 et Fig. 2.4).

Pour le CAP, les seuls savoirs liés aux codes de représentation 2D qui restent sont limités à la lecture et ne concernent que la signification des différents traits, l'association des surfaces et volumes sur différentes vues et le relevé d'informations d'une mise en plan. Il est essentiel de noter que cette mise en plan est issue d'un modèle volumique.

Ainsi, de nombreux savoirs liés aux codes de représentation 2D ont disparu pour laisser la place à des savoirs liés aux outils 3D. Par exemple, le modelleur volumique permet de visualiser une infinité de plans de coupe, ce qui rend désuète l'utilisation des coupes à plans parallèles ou sécants. Parallèlement, comme nous l'avons vu précédemment, d'autres fonctionnalités du modelleur volumique permettent de répondre à des besoins de visualisation jusqu'alors non disponibles : outil « *cacher / montrer* », outil « *mesurer* », arbre de construction... Ces fonctionnalités constituent autant d'outils à disposition de l'enseignant (et des élèves) pour aborder « *l'identification des surfaces et des volumes* » et « *le décodage de sous-ensembles* » (Fig. 2.3).

SAVOIR S 1.2 LECTURE DE LA REPRÉSENTATION D'UN ÉLÉMENT ET/OU D'UN MÉCANISME				
Connaissances	Limites de connaissances	Niveaux		
		1	2	3
<b>S1.2.1 / Lecture</b>				
<b>Décodage, identification des surfaces et des volumes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification et désignation des formes géométriques des surfaces et volumes constitutifs d'une pièce</li> <li>• Vocabulaire technique associé aux formes (arbre, épaulement, alésage...)</li> </ul>	À partir d'un modèle 3D ou de produits réels en relation avec le champ professionnel de la maintenance des véhicules			
<b>Lecture de représentations normalisées</b> Sur une mise en plan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informations fournies</li> <li>• Codage des différents traits</li> <li>• Différentes vues : association d'une même surface dans les vues</li> <li>• Décodage des cotes et spécifications géométriques liées aux surfaces</li> </ul>	Sur un schéma et à l'aide de la norme : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification de liaisons</li> <li>• Identification de composants hydrauliques, pneumatiques et électriques</li> </ul>			
<b>Lecture de documents techniques</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecture et utilisation de tous types de documents techniques utilisées dans le cadre de la maintenance des véhicules.</li> </ul>	À partir de diverses modes de représentation, numérisées ou non, qui peuvent être utilisées en communication technique ou en maintenance.			
<b>Décodage de sous-ensembles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repérage des pièces constitutives d'un sous-ensemble</li> </ul>	À partir d'un modèle 3D ou de produits réels en relation avec le champ professionnel de la maintenance des véhicules			
<b>Décodage de sous-ensembles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description d'une solution constitutive</li> </ul>				
<b>S1.2.2 / Représentation</b>				
<b>Croquis d'une pièce</b>	À main levée			
		Information	Expression	Maîtrise d'outils

Fig. 2.3. Extraits des « savoirs à aborder » référentiel CAP MVM

Les seuls savoirs liés à la représentation concernent soit le modèle numérique 3D, soit le croquis à main levée, ce qui illustre bien la nécessité de revoir les schémas d'apprentissage anciens.

Par ailleurs, il serait réducteur et même erroné de penser que les nouveaux savoirs du centre d'intérêt « *Représentation du réel* » concernent les fonctionnalités des modelers volumiques. Ils sont au contraire, comme nous allons le voir, très souvent associés aux démarches technologiques. Sur les deux référentiels, nous constatons que le modèle 3D est utilisé comme support de communication technique, l'élève étant amené à l'utiliser pour en extraire une représentation pertinente en relation avec un besoin de représentation ou de recherche d'information en maintenance.

Connaissances	Limites de connaissances	Niveaux			
		1	2	3	4
<b>S1.2.1 / Représentation en phase d'analyse</b>					
<b>Outils de représentation de solutions</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Croquis et perspectives</li> <li>• Schéma de principe</li> <li>• Schéma technologique</li> <li>• Schéma cinématique</li> </ul>	À main levée  Système en relation avec le champ professionnel de la maintenance de véhicule automobile.				
<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en plan 2D à partir d'un modèle numérique 3D</li> <li>• Modèles volumiques 3D               <ul style="list-style-type: none"> <li>- images spécifiques associées à la maquette numérique traitées du point de vue maintenance (éclaté, transparence...)</li> </ul> </li> </ul> </div>					

**À partir d'un modèle fourni**

Fig. 2.4. Extrait des « savoirs à aborder » référentiel Bac Pro MVA

### → c. L'apprentissage des savoirs fondamentaux à partir du modèle numérique

Concernant les savoirs abordés dans les autres centres d'intérêt, les fondamentaux de la construction mécanique n'ont pas véritablement changé. Mais si auparavant, l'enseignant s'appuyait sur la représentation 2D pour les aborder, l'outil modeler s'impose à présent comme l'outil de communication technique. Le cours de synthèse en fin d'activité révèle les mêmes savoirs et les mêmes démarches, mais le chemin pour y parvenir est à réinventer avec des outils numériques permettant des approches pédagogiques différentes mais riches, variées, et s'affranchissant de tout parasitage lié aux codes de représentation.

Les « *Repères pour la formation Bac pro MVA* » (février 2002) sont sur ce point, très clairs et on peut y lire : « *L'évolution de la nature et des supports de représentation graphique induit des compétences nouvelles et des démarches d'apprentissage innovantes à développer. L'association interactive du modèle numérique et de sa représentation 2D, les fonctionnalités des logiciels (arbres de création et d'assemblage, esquisses, ...) aident fortement à la compréhension de l'organisation des géométries et des structures constitutives des éléments* ».

Dans le deuxième chapitre, nous proposons d'illustrer au travers d'exemples d'activités cette pertinence liée à l'utilisation du modeler et sa richesse pédagogique.

## → B. L'UTILISATION DU MODELEUR VOLUMIQUE DANS DES SEQUENCES D'ENSEIGNEMENT

Nous allons à présent mettre l'accent sur l'utilisation pédagogique du modelleur au travers de trois séquences au cœur de l'enseignement de construction en MVA :

- la première leçon porte sur la représentation technique,
- la deuxième sur l'analyse cinématique des systèmes mécaniques,
- la dernière sur la liaison encastrement.

Ces trois séquences d'enseignement sont présentées sous différentes formes :

- fiches de synthèse et scénario d'apprentissage pour la leçon sur la représentation technique,
- stratégie d'apprentissage et articulation des séances pour l'analyse cinématique des systèmes mécaniques,
- documents «élèves» et document «professeur» d'une activité de travaux pratiques pour la liaison encastrement.

## → a. Aborder une première leçon avec le modelleur volumique

Cette première leçon en tout début de cycle d'apprentissage est sans doute une des leçons les plus difficiles à construire car elle oblige l'enseignant de construction à sortir des schémas anciens qui lui ont été proposés lors de sa formation initiale quelques années auparavant et qu'il a le plus souvent reproduits face à ses élèves. Les codes de représentation 2D imposaient à l'enseignant de nombreuses séances d'apprentissage avant que l'élève puisse décoder le dessin technique d'un support de sa spécialité, soit de nombreuses semaines voire des mois à faire représenter des « *briques entaillées* » sur différentes vues.

Comme nous l'avons déjà souligné, le modelleur volumique nous permet non seulement d'aborder une analyse technique dès les premiers cours, mais en plus de s'appuyer sur un système mécanique complet (et non sur une pièce seule souvent isolée de son contexte). Cependant, et comme nous le faisons avec le dessin technique, l'enseignant doit conduire ses élèves à appréhender l'outil, c'est-à-dire, dans le cas du modelleur volumique, à connaître les quelques commandes de base nécessaires à toute activité ainsi que les règles d'ouverture et de sauvegarde de leur travail.

Face à cette exigence, l'enseignant de construction peut se sentir un peu désorienté, d'autant plus que cet apprentissage pourtant nécessaire n'apparaît pas explicitement dans les référentiels.

La séquence que nous présentons s'appuie sur l'aspect professionnel de l'utilisation de l'outil en le situant dans un contexte de technicien de maintenance. L'objectif de cette première leçon peut être défini de la manière suivante :

*L'élève doit être capable d'associer les différents types de représentation des documents techniques et de connaître les possibilités de communication moderne.*

On peut le compléter par un autre objectif lié comme nous l'avons dit précédemment à la prise en main d'un nouvel outil :

*L'élève doit connaître les règles initiales d'utilisation du modelleur, l'organisation générale de l'écran et les commandes de la souris pour agir sur le modèle numérique.*

Ainsi, l'apprentissage des fonctionnalités du modelleur volumique abordées au travers de l'activité sont associées :

- à des connaissances sur l'évolution des outils de communication technique auxquels l'élève sera confronté dans sa vie professionnelle,
- à l'apprentissage d'un vocabulaire technique de base avec lequel l'élève devra se familiariser : assemblage / pièces / mise en plan ainsi que des termes techniques présents dans l'arbre de construction du modèle et associés au support.

# 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

→ Remarque : l'utilisation du support de la poignée de frein de moto associée au site internet de l'entreprise Beringer® présente l'intérêt de montrer le lien fort entre les outils utilisés en formation et ceux utilisés dans le milieu professionnel. L'organisation descendante proposée sur ce site correspond parfaitement aux démarches d'analyse technique mises en place dans les formations.

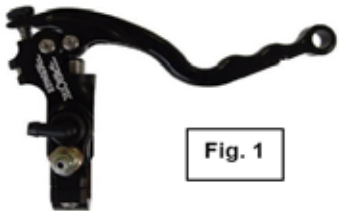
Les documents de synthèse de l'activité peuvent prendre la forme suivante (Fig. 2.5 et 2.6).

→ Source : [www.beringer.fr](http://www.beringer.fr)

### Les outils de la représentation technique

**1. Le support technique de l'étude est une poignée de frein de moto (image du réel = Fig. 1). Il s'agit :**


- d'un produit : il a une existence commerciale propre (marque BERINGER®),
- d'un sous ensemble : il ne peut fonctionner (remplir sa fonction) que lorsqu'il est correctement implanté dans le système de freinage avant d'une moto de route,
- d'un mécanisme : on constate lors de son fonctionnement que certains éléments sont mobiles les uns par rapport aux autres.




**Fig. 1**

**2. Les documents techniques / cycle de vie du produit.**  
Tout client a ainsi accès à de la documentation commerciale, par ex :

- documentation technique "papier" (Fig. 2)
- site internet (Fig. 3)



**Fig. 2**



**Fig. 3**

Avant d'être commercialisé ce produit a été :

- conçu,
- fabriqué,
- assemblé & contrôlé,
- distribué.

Il devra également être :

- maintenu,
- détruit & recyclé.

Tout au long du cycle de vie du produit le technicien disposera de **documents techniques en parfaite relation avec ce produit** sur lesquels il pourra trouver (ou porter en phase de conception) toutes les informations techniques nécessaires. Le dossier technique contenant ces données est actuellement le **modèle numérique**.  
Tous les documents (dérivés) destinés à des utilisateurs particuliers (client, commercial, sous traitant, agent de maintenance, ...) sont tous réalisés à partir du même modèle numérique.

*Remarque : on ne peut trouver dans ces différents documents que ce que leur auteur a choisi de divulguer.*

**Le technicien qui dispose de l'outil modeler (le même ou similaire à celui qui a été utilisé pour concevoir le produit) peut alors chercher par lui-même les informations techniques souhaitées et/ou produire les documents explicitant ces informations.**

Fig 2.5. Document de synthèse de l'activité - Les outils de la représentation technique



### Le modelleur volumique

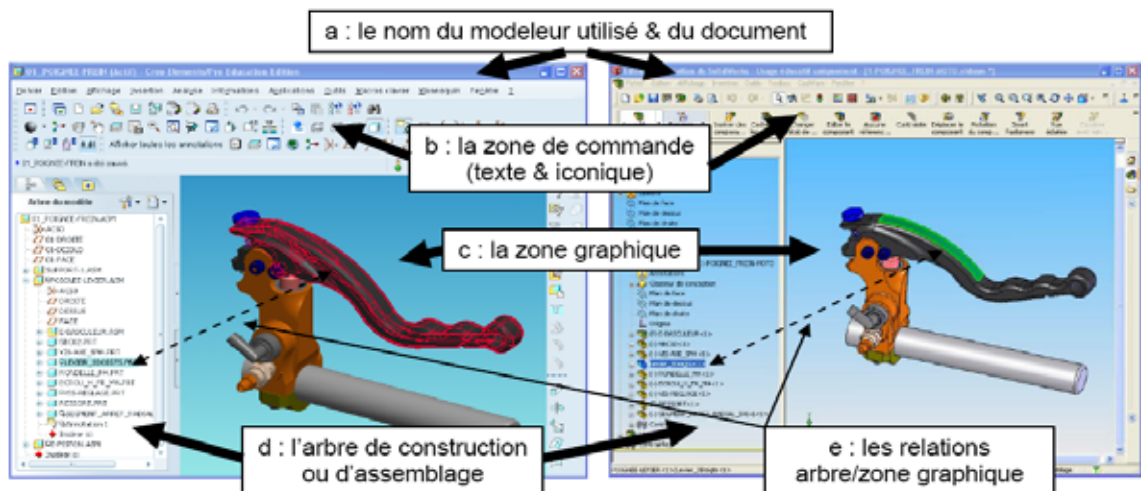
Il s'agit d'un **outil professionnel**. Son utilisation respecte donc des **règles précises** (qui peuvent se différencier de "l'utilisation habituelle" des outils informatiques). Ces règles pourront être :

- génériques : communes à tous les outils modelleurs (et à l'utilisation des outils informatiques),
- spécifiques à un logiciel particulier.

Dans tous les cas les mises en application de ces règles sont explicitées dans les **fiches d'aide**.

#### Organisation générale :

Tous les modelleurs ont une organisation et une présentation générale similaire, rappelée ci-dessous au travers de 2 exemples (SolidWorks/Dassault & Creo/PTC) :



Les actions sur le modelleur en particulier pour la visualisation se font essentiellement au travers de l'utilisation de la souris avec des actions spécifiques des "4 boutons" (3 boutons + roulette) pour chaque logiciel et/ou génériques à Windows ("BGS" = sélection, "BDS" = action) et du clavier (surtout pour l'entrée de données).



**Règles (professionnelles) initiales.** Le technicien connaît :

- l'outil qu'il va utiliser : toujours commencer par démarrer le modelleur utilisé,
- où se trouvent les données qu'il va utiliser et éventuellement sauvegarder,
- le type de données sur lesquelles il va travailler (assemblage / pièce / mise en plan) ainsi que leur désignation (nom lors de l'ouverture et/ou lors de la sauvegarde).

Fig. 2.6. Document de synthèse de l'activité - Le modelleur volumique



Il est important de noter que les fonctionnalités du logiciel ne figurent pas sur les documents élèves. Elles sont regroupées sur des fiches d'aide mises à la disposition des élèves pendant l'activité. En effet, elles ne font pas partie des savoirs à acquérir et il est important pour l'enseignant de centrer l'apprentissage sur les savoirs techniques et d'éviter des parasitages liés à des commandes informatiques sans intérêt technique.

Les contenus d'enseignement étant définis, l'enseignant peut alors construire son scénario d'apprentissage qui peut ressembler par exemple à celui proposé ci-après (Fig. 2.7).

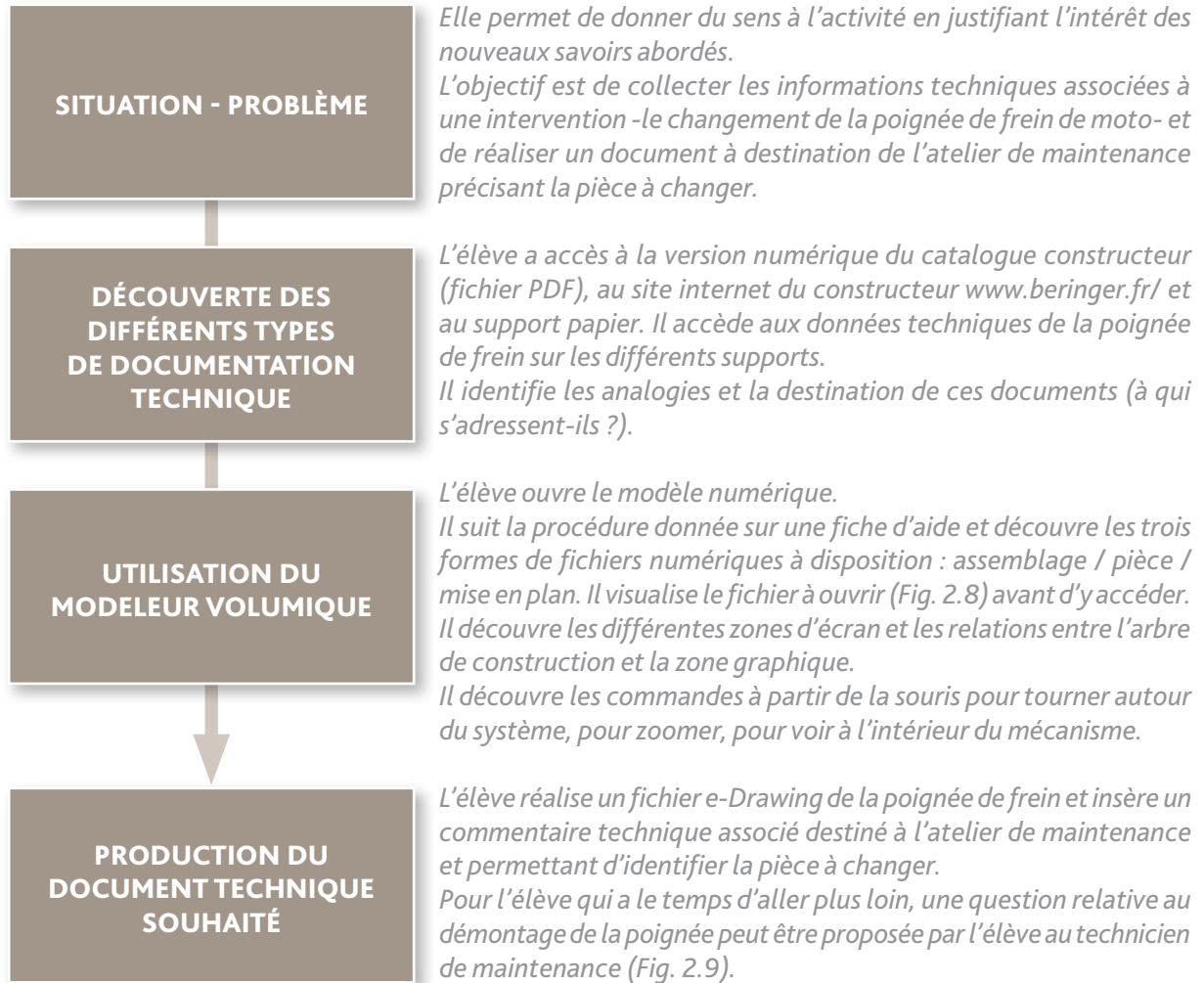


Fig. 2.7. Scénario d'apprentissage de l'activité

→ Remarque : la règle imposée sur l'ouverture du fichier de travail pour les élèves permet d'aborder le savoir lié à l'analyse morphologique d'une pièce ou d'un système mécanique (Fig. 2.8).

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

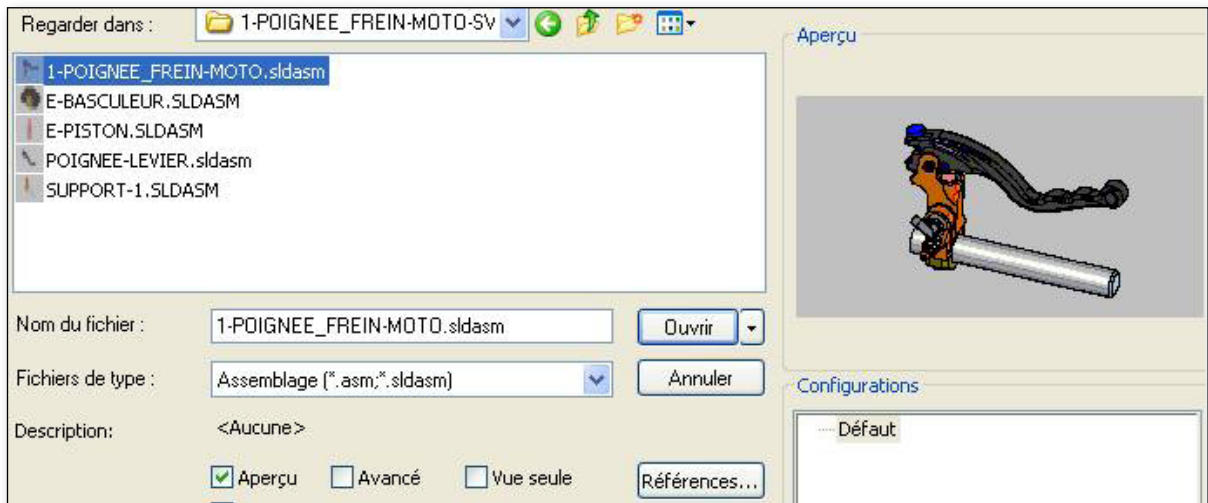


Fig. 2.8. Visualisation du modèle pendant la procédure d'ouverture du fichier

Ce scénario conduit bien à l'apprentissage des savoirs visés sur la fiche de synthèse. L'outil modeler est présenté comme l'outil moderne de communication technique et l'activité permet bien, lors de la première séance, de poser les règles d'utilisation à appliquer lors de chaque activité ainsi que de familiariser les élèves avec les commandes du logiciel.



Fig. 2.9. Exemple de réalisation possible sur e-Drawing

## → b. Analyse d'un système – modèle cinématique

Cette deuxième leçon proposée ici est une leçon clé pour l'enseignant de construction mécanique. Elle tient une place prépondérante et intervient très tôt dans la progression pédagogique, peu de temps après la première leçon vue précédemment.

On peut par exemple imaginer une stratégie pédagogique présentant une succession de séances conduisant aux savoirs relatifs à l'analyse du fonctionnement au travers du modèle cinématique. Les séances présentées ici feraient l'objet d'une activité de découverte avec l'outil modelleur volumique suivie d'une synthèse de l'enseignant. À la suite, des séances d'ancrage seraient proposées.

### Séance 1

L'élève découvre l'organisation d'un système mécanique sous forme d'Ensembles Cinématiquement Équivalents (ECE) permettant la visualisation de son fonctionnement.

→ *Remarque : on peut imaginer l'activité correspondante à partir de la poignée de frein de moto vue précédemment.*

L'étude du fonctionnement de la poignée de frein de moto (Fig. 2.10) met en évidence :

- des groupes de pièces ECE en mouvement relatif,
- chaque groupe est constitué de composants (pièces, sous ensembles) fixes les uns par rapport aux autres,
- il existe obligatoirement un ensemble fixe (ici le support Fig. 2.10),
- les mouvements entre ces ECE sont associés aux **liaisons mécaniques** entre ces ensembles,
- une organisation équivalente de l'arbre de construction du modèle numérique avec des **contraintes d'assemblage** correspondant aux **liaisons mécaniques**.

L'organisation d'un assemblage peut donc correspondre à l'organisation d'un **mécanisme** et permettre la visualisation de son fonctionnement.

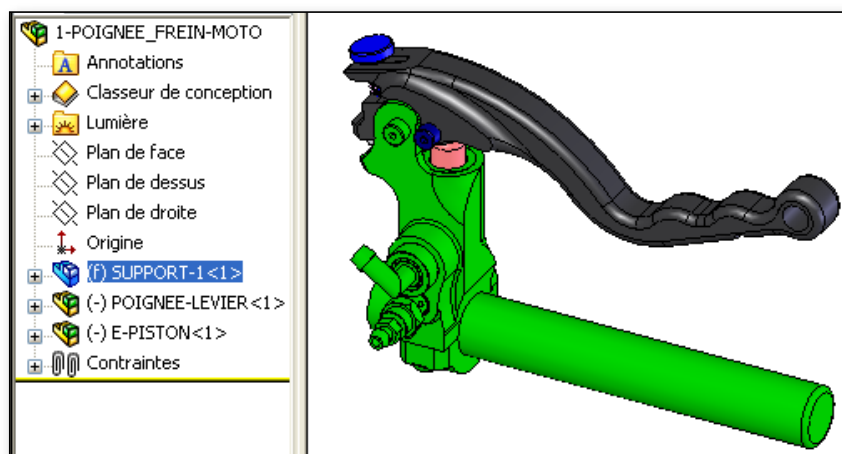


Fig. 2.10. Poignée de frein organisée en Ensemble Cinématiquement Équivalent

**Intérêt du modelleur volumique sur la séance :** cette séance de découverte s'appuie sur la visualisation.

- Le modelleur volumique permet à l'élève de visualiser les différents sous-assemblages organisés en ECE à l'aide de l'arbre de construction (par exemple le support sur la Fig. 2.10). Il constate ici qu'il y a trois ECE dont un est fixe : ici le support précédé dans l'arbre de construction de (f).
- En agissant sur la poignée, l'élève visualise le fonctionnement du système.
- En supprimant ou réactivant les contraintes d'assemblage entre ces trois ECE, le modelleur volumique permet à l'élève d'appréhender la notion de liaison (Fig. 2.11).
- En supprimant les contraintes d'assemblage, l'élève comprend le rôle essentiel des liaisons dans le fonctionnement d'un mécanisme.

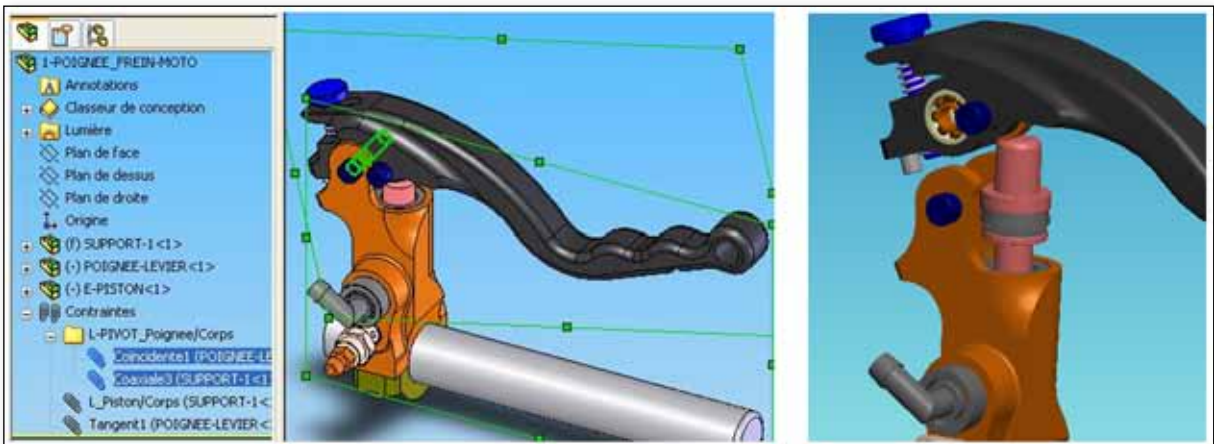


Fig. 2.11. Activation et désactivation d'une contrainte d'assemblage

## Séance 2

L'élève organise fonctionnellement un système mécanique (en Ensembles Cinématiquement Équivalents) pour comprendre son fonctionnement.

→ *Remarque : la séance est proposée sur le support de fourche de VTT présentant l'intérêt d'être connu des élèves et d'avoir un nombre de pièces raisonnable pour effectuer l'exercice.*

L'élève dispose du modèle numérique de la fourche dans lequel toutes les pièces sont situées au même niveau de l'arbre de construction (Fig. 2.12).

→ *Remarque : pour faciliter l'exercice, toutes les pièces ne sont pas présentes. Seules le sont celles qui sont indispensables à la compréhension du fonctionnement.*

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

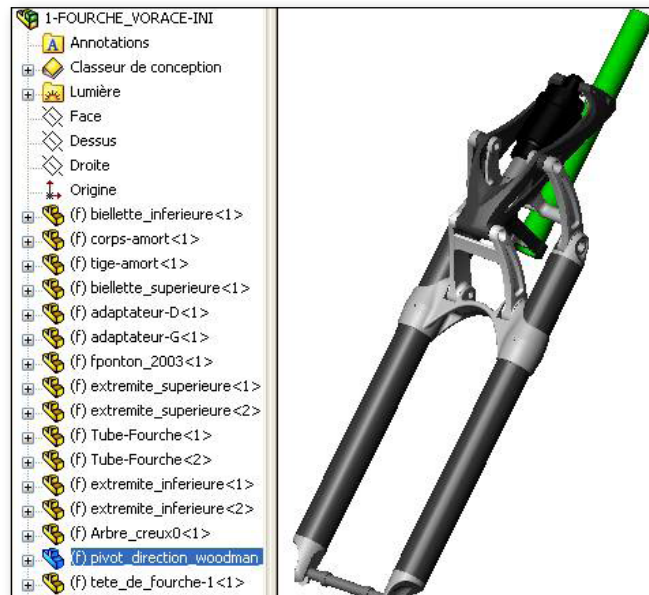


Fig. 2.12. Modèle numérique de la fourche avec toutes les pièces au même niveau

La mise en situation de ce produit nous permet d'identifier, comme sur toute fourche de vélo, la pièce qui sera liée au cadre (appelée ici pivot de direction). Cette pièce sera donc considérée comme étant fixe.

À cette pièce fixe, on associe alors un sous-ensemble fixe appelé par exemple E\_FIXE (Fig. 2.13). On peut alors associer une couleur à ce sous-ensemble (par ex. ici jaune). Toute pièce de l'assemblage général qui sera glissée dans ce sous-ensemble prendra alors cette couleur : par exemple la tête de fourche (Fig. 2.13) identifiée ainsi comme faisant partie de l'ensemble fixe.

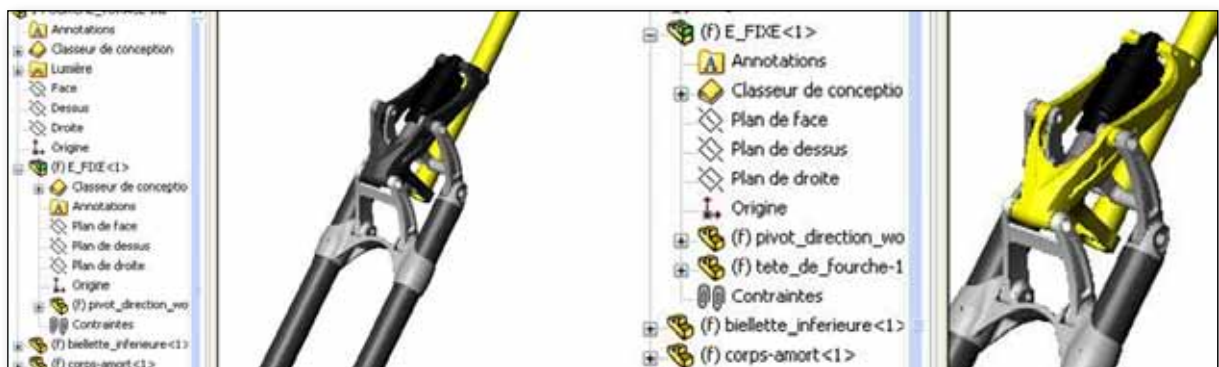


Fig. 2.13. Mise en place d'une ECE en faisant glisser les pièces dans un sous-ensemble

Un 2<sup>e</sup> sous-ensemble (appelé ici E\_FOURREAU) est créé de manière similaire (Fig. 2.14) à partir de l'identification des éléments liés à la roue.



### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

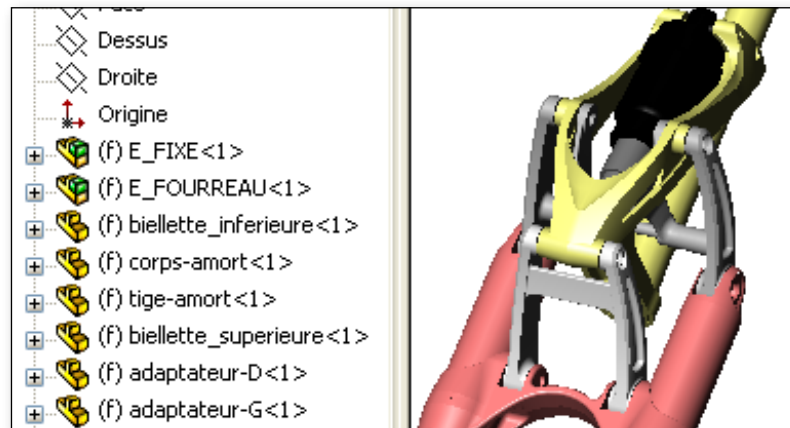


Fig. 2.14. Création du sous-ensemble E-FOURREAU en lui associant une couleur

L'élève arrive ainsi, par analogie, interprétation, essais... à l'organisation de la Fig. 2.15 où l'ensemble est organisé en ECE.

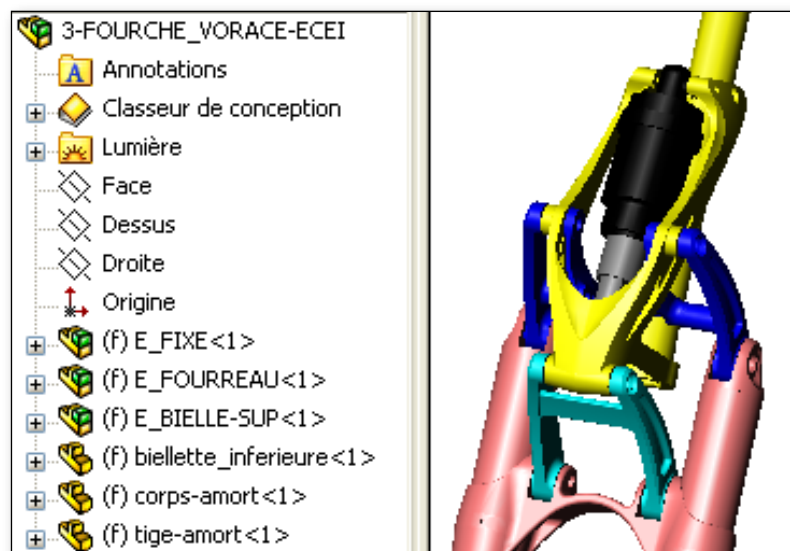


Fig. 2.15. Fourche organisée en Ensembles Cinématiquement Équivalents

L'organisation de l'arbre de construction peut alors être décrite par une représentation graphique simplifiée : le graphe des liaisons (Fig. 2.16). L'élève retrouve dans ce graphe l'ensemble des ECE présents dans son arbre de construction (Fig. 2.15), les liaisons résultant des contacts entre ces ECE.

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

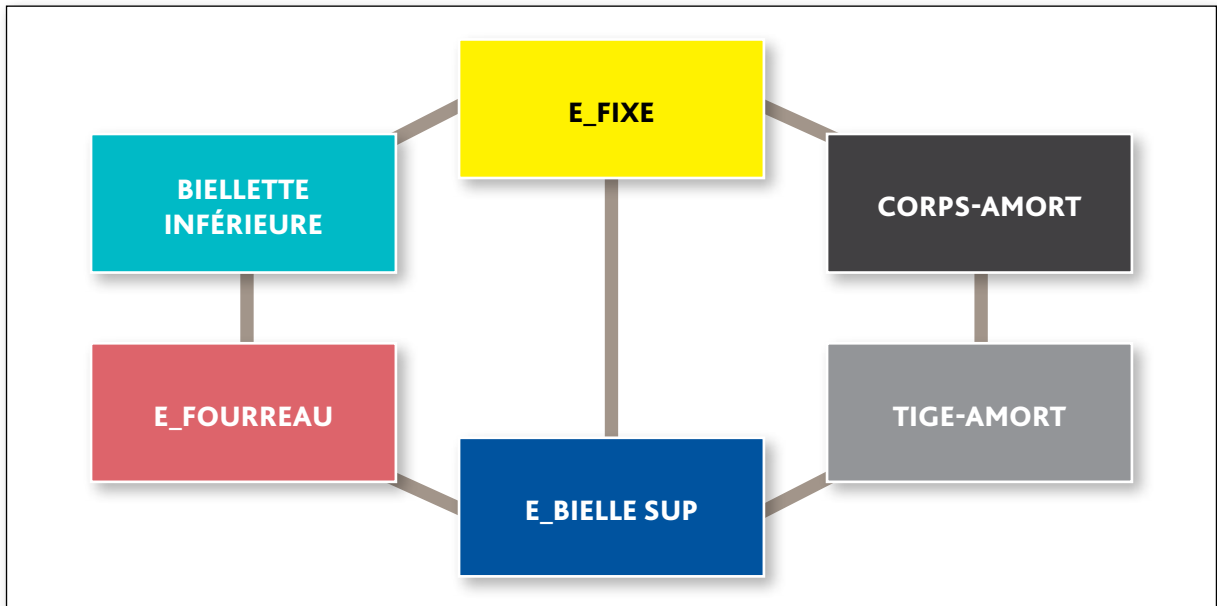


Fig. 2.16. Graphe des liaisons de la fourche

→ *Remarque : on constate que le fourreau n'est pas en liaison avec l'ensemble fixe. Parmi les 2 biellettes interposées entre le corps et le fourreau, on peut considérer que la biellette inférieure est prépondérante. On conduit alors l'élève à modifier l'ordre de l'assemblage du système (correspondant à un ordre de montage à l'atelier). Cette modification s'obtient facilement sur le modèle numérique en faisant glisser le sous-assemblage biellette\_inférieure en dessous du sous-assemblage E\_FIXE.*

Le modelleur volumique permet aussi de cacher les différents sous-assemblages et de les faire apparaître progressivement dans l'ordre de montage (Fig. 2.17).

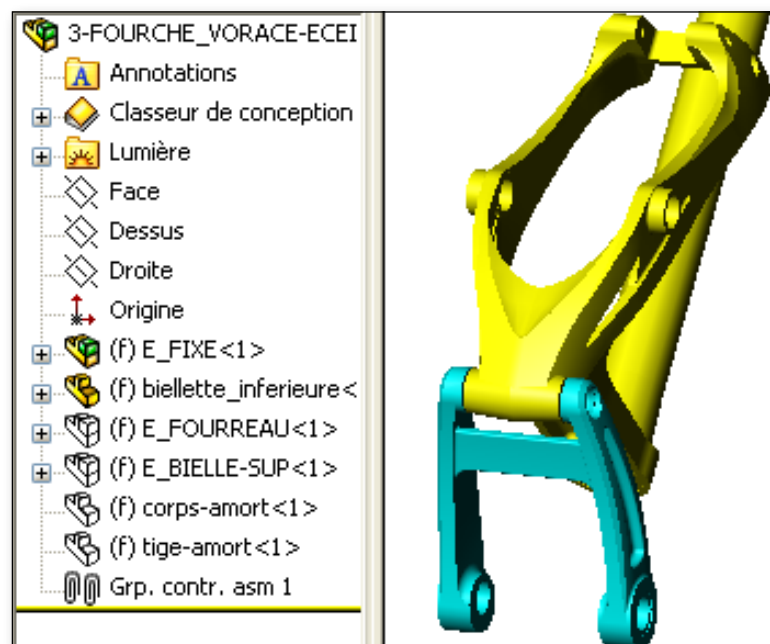


Fig. 2.17. Visualisation des deux premiers ECE de la fourche



**Intérêt du modelleur volumique sur la séance :** cette séance classique pour l'enseignant de construction était organisée auparavant autour d'un dessin d'ensemble avec un exercice de décodage conduisant par le biais d'un coloriage des différents ECE à la construction du graphe des liaisons. Cette activité proposée à présent sur modelleur volumique présente de nombreux avantages :

- Le modelleur volumique permet à l'élève d'identifier facilement les différentes pièces du système en évitant ainsi le parasitage lié aux codes de représentation.
- En associant à chaque ECE une couleur, l'élève construit alors ses sous-ensembles en visualisant à tout moment ses choix car la pièce glissée dans un ensemble cinématiquement équivalent prend automatiquement sa couleur. L'élève a également la possibilité de revenir en arrière s'il se trompe.
- Le modelleur volumique permet enfin une activité supplémentaire qui consiste à agencer les ECE en fonction d'un ordre de montage par exemple, ce qui établit un lien intéressant avec l'activité de maintenance.

### Séance 3

L'élève identifie les liaisons mécaniques entre les Ensembles Cinématiquement Équivalents pour simuler le fonctionnement.

Par identification des surfaces de liaison et du fonctionnement, l'élève détermine chacune des liaisons entre chaque E.C.E.

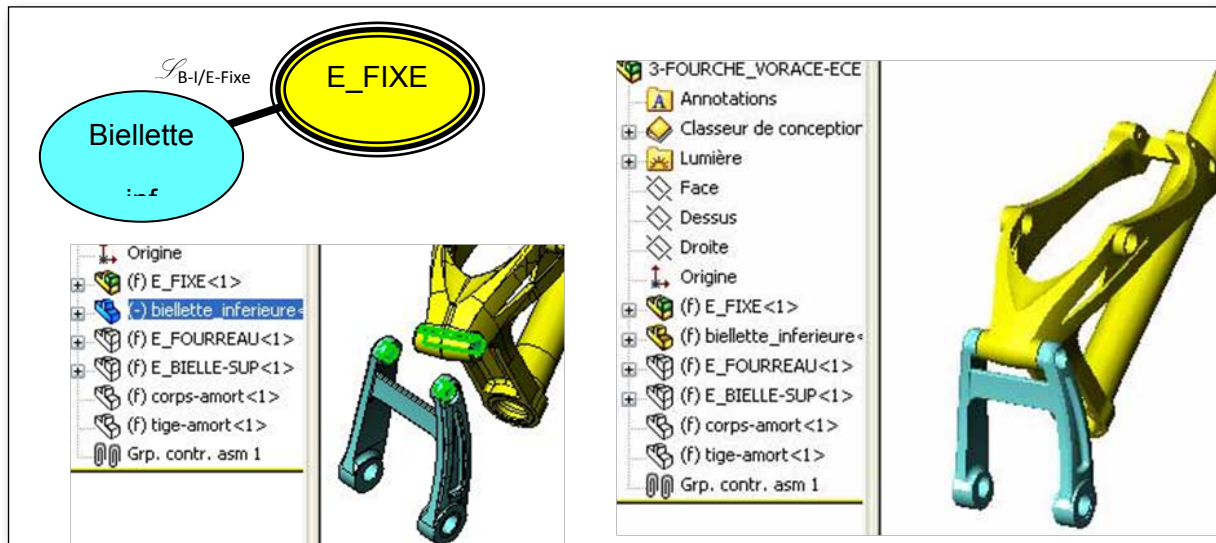


Fig. 2.18. Activation des contraintes d'assemblage entre la biellette inférieure et l'ensemble fixe

La liaison biellette-inférieure/E-FIXE est ainsi identifiée comme une liaison pivot. Les 2 contraintes associées (coaxialité des surfaces cylindriques + coïncidence des plans médians) permettent de vérifier que le mouvement résultant est bien un mouvement de rotation par rapport à l'axe (Fig. 2.19).

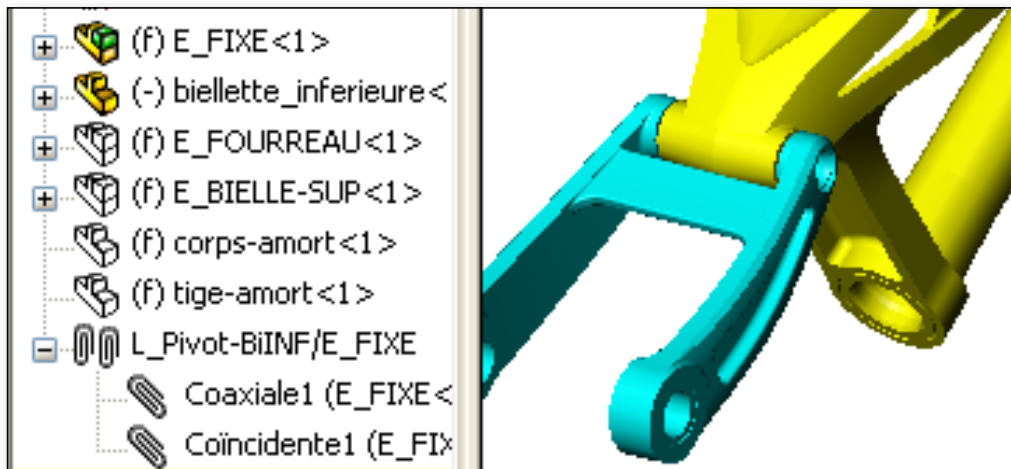


Fig. 2.19. Visualisation du mouvement et écriture du nom de la liaison

Les autres liaisons sont ainsi définies une à une en suivant la même procédure et en vérifiant à chaque fois que le mouvement obtenu est compatible avec le fonctionnement attendu.

#### Intérêt du modelleur volumique sur la séance :

- La séance autrefois réalisée avec le dessin 2D imposait une identification, souvent peu aisée, des surfaces de contact sur plusieurs vues. L'utilisation du modelleur permet une découverte plus rapide et plus concrète des liaisons.
- L'élève, sur le modelleur volumique, en activant ou désactivant les contraintes d'assemblage, visualise le contact. Puis il simule le mouvement relatif entre deux ensembles cinématiquement équivalents en visualisant le mouvement.
- Le repère présent dans la zone graphique permet à l'élève d'identifier le type de mouvement possible et sa direction ou son axe.
- Le modelleur volumique permet enfin à l'élève d'écrire dans l'arbre de construction le nom de la liaison ainsi trouvée (Fig. 2.19).

#### → c. Analyse de la liaison encastrement

La troisième leçon proposée est aussi une leçon habituelle pour l'enseignant de construction mécanique, en particulier dans les filières de maintenance, puisque les activités de montage / démontage sont souvent effectuées sur des liaisons encastrement.

L'analyse d'une liaison encastrement fait l'objet de plusieurs séances d'enseignement permettant d'aborder les différentes architectures de liaisons (appui plan prépondérant ou portée cylindrique prépondérante), les différents types (liaisons démontables ou indémontables, liaisons par adhérence ou par obstacle) puis par la suite les éléments d'assemblage.

La séance présentée est une activité de découverte effectuée avec le modelleur volumique pouvant éventuellement être associée à des travaux pratiques de découverte sur système réel proposant une autre architecture de liaison. Les documents ci-dessous sont des supports à destination des élèves, chacun disposant d'un poste informatique avec le modelleur volumique.

→ *Données :*

On dispose du modèle numérique d'un moteur thermique de débroussaillage. (Fig. 1)  
Fichier : «nom du fichier à ouvrir par les élèves»

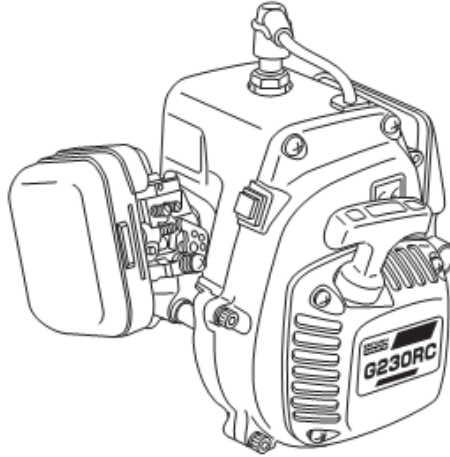


Fig. 1

→ *Analyse du fonctionnement :*

L'analyse du fonctionnement du modèle de ce moteur a mis en évidence des ensembles cinématiquement équivalents.

**Énoncer** ces différents E.C.E.

→ *Analyse de la liaison encastrement :*

L'étude suivante porte sur l'analyse des solutions constructives qui ont conduit à réaliser le sous-ensemble E1\_CORPS-2b (Fig. 2).

On peut constater ici que tous éléments constituant ce sous-ensemble sont fixes (f) et disposés dans n'importe quel ordre dans l'arbre d'assemblage.

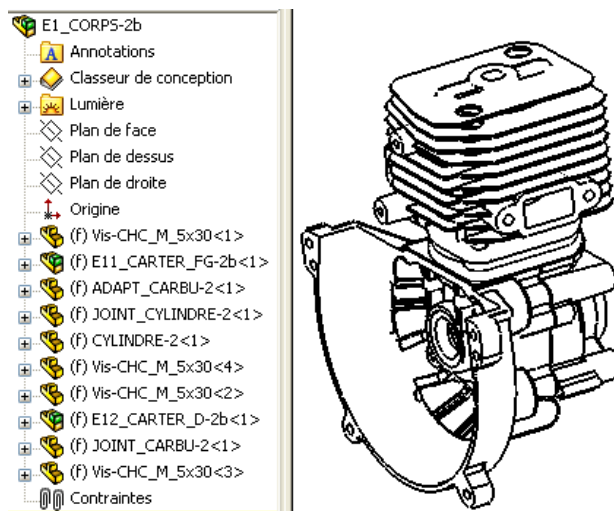


Fig. 2

- **1. Proposer** un ordre correspondant à l'ordre de montage qui devra être respecté dans la réalité pour réaliser ce sous-ensemble.

- **2. Analyser** la liaison entre les deux demi-carters :  
E11\_CARTER\_FG-2b et E12\_CARTER\_D-2b (: carters E11 et E12) :  
Cacher tous les autres composants.

- **2.1** Étude de la mise en position (E11 / E12 ou E12 / E11) :  
Informatiquement, cette liaison va être analysée en :
  - «libérant» un de ces 2 composants puis en le déplaçant (Fig. 3),
  - recréant les contraintes d'assemblage.

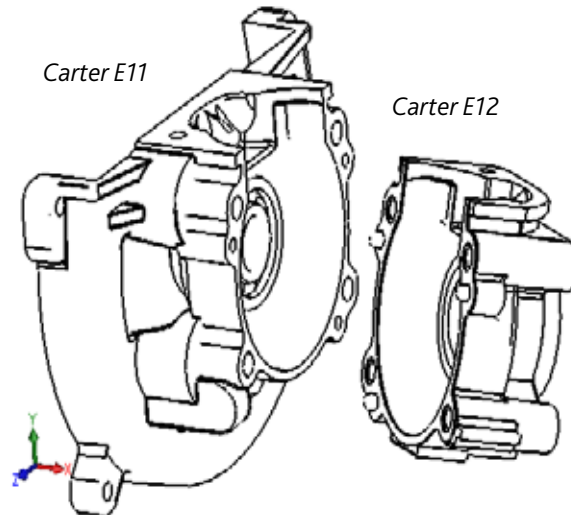


Fig. 3

- 2.1.1 Indiquer, dans l'ordre, les contraintes d'assemblage nécessaires à la réalisation du modèle numérique de cet assemblage.
- 2.1.2 Préciser les surfaces utilisées ainsi que les degrés de liberté supprimés par chacune (on pourra se servir, pour illustrer la réponse, de la représentation de la Fig. 3) en coloriant le 1<sup>er</sup> couple de surfaces choisi).  
**(Appel professeur)**  
Indiquer si tous les degrés de liberté sont supprimés.
- 2.1.3 Préciser à l'aide du modelleur s'il est nécessaire d'utiliser les 3 pions. En déduire la condition pour que cet assemblage soit possible dans la réalité.
- **2.2** Étude du maintien en position :
  - 2.2.1 Expliquer ce qui se passerait dans la réalité si, lors de l'assemblage, le technicien s'arrêtait à l'étape précédente.
  - 2.2.2 Nommer alors les composants indispensables pour garantir la liaison. Les faire apparaître, s'ils ont été préalablement cachés. Indiquer le critère qui vous a permis de les identifier.
  - 2.2.3 Sur le modelleur, terminer l'assemblage de chacun de ces composants, en reprenant la même démarche que précédemment (Libérer / Déplacer / Définir dans l'ordre les contraintes). Ici on cherchera à définir les contraintes dans un ordre qui correspond au mieux à la simulation de la réalité :
    - (a) : «Je positionne la vis en face de ...»
    - (b) : «...»
  - 2.2.4 Les vis exercent un effort presseur : quelle est ici la surface pressée ? Y a-t-il une relation entre cette surface et la première surface choisie pour assurer la mise en position ? Si oui, quelle est cette relation ?

- **3. Vérifier** l'assemblage : simulation du montage / démontage.

- **3.1** Maintien en position : pour une des vis assemblées précédemment, montrer que, en supprimant (désactivant) une à une les contraintes dans l'ordre inverse de celui dans lequel elles ont été définies, on peut visualiser le démontage.

**(Appel professeur)**

- **3.2** La suppression une à une des contraintes de la mise en position ne permet pas obligatoirement de visualiser l'ordre de démontage si elles ont été hiérarchisées suivant le nombre de degrés de liberté qu'elles suppriment.

Proposer une organisation qui permettrait ici de simuler le montage / démontage.

- **3.3** Conclusion : quelle(s) précaution(s) faudra-t-il respecter lors de l'assemblage réel ?

- **4. Représenter**

- **4.1** En vous aidant d'une vue en coupe judicieusement positionnée sur le modeleur volumique, représenter à main levée, à l'échelle 2, l'assemblage d'une des vis. Identifier, avec l'aide d'un guide du dessin industriel, les différences de représentation à respecter pour représenter correctement cet assemblage.

- **4.2** Réaliser cette même représentation avec le modeleur en faisant une mise en plan en coupe.

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

---

Ce document à destination des élèves est, comme nous l'avons vu précédemment, accompagné d'une fiche d'aide leur donnant les principales fonctionnalités du logiciel nécessaires à l'activité sur chaque poste informatique.

L'activité commence par une analyse du système étudié permettant de situer le problème posé dans son contexte : il s'agit d'un moteur de débroussailleuse possédant 4 ensembles cinématiquement équivalents, et la liaison étudiée se situe sur le corps du moteur.

L'analyse de la liaison encastrement est adossée à une problématique de maintenance présente dans le questionnement proposé. La mise en position permet de mettre en évidence la notion de plan prépondérant puis de constater que les pions suppriment les trois degrés de liberté restants. Une sensibilisation est faite sur la notion d'hyperstaticité (question 2.1.3). Le maintien en position permet de nommer et caractériser les éléments d'assemblage et de découvrir leur fonction (2.1.4).

La partie simulation du montage /démontage permet de lier l'apprentissage de la liaison encastrement à l'activité métier pour laquelle l'élève agit en compréhension.

Enfin, comme nous l'avons souligné au paragraphe 1.2 (les savoirs liés à la représentation sont abordés par petites touches pendant l'année en fonction des besoins), la représentation des filetages est traitée en regard de l'analyse de la liaison encastrement.

→ *Remarque : l'activité peut être scindée en deux parties, l'aspect représentation pouvant être abordé lors de la séance suivante.*

Le document élève est complété ci-après pour préciser en quoi le modeleur volumique constitue une aide à la découverte des nouvelles notions.

### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

→ *Données :*

On dispose du modèle numérique d'un moteur thermique de débroussaillage. (Fig. 1)  
Fichier : «nom du fichier à ouvrir par les élèves»

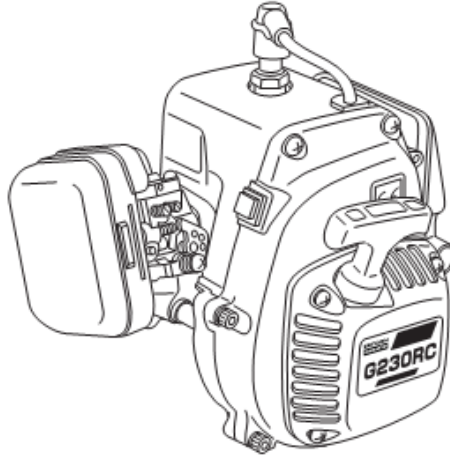


Fig. 1

Les données numériques sont issues du modèle présent sur le site Educauto. L'ensemble E1-CORPS a été quelque peu modifié en vue de cet exercice :

- Création de 2 sous-ensembles liés au CARTER\_D et au CARTER\_FG.
- Insertion des 4 vis de fixation (présentes dans le répertoire).
- Insertion des 3 pions.
- Mise dans le désordre des composants (ex. Fig. 2).

→ *Analyse du fonctionnement :*

L'analyse du fonctionnement du modèle de ce moteur a mis en évidence des ensembles cinématiquement équivalents.

**Énoncer** ces différents E.C.E.

Un élève en MVA doit évidemment reconnaître les 4 composants habituels d'un système piston/bielle/manivelle. Cette activité a déjà été abordée précédemment dans l'année.



### 3 — [ METHODES ET OUTILS POUR CONSTRUIRE UNE ACTIVITE D'APPRENTISSAGE AVEC LES MODELEURS VOLUMIQUES ]

→ *Analyse de la liaison encastrement :*

L'étude suivante porte sur l'analyse des solutions constructives qui ont conduit à réaliser le sous-ensemble E1\_CORPS-2b (Fig. 2).

On peut constater ici que tous les éléments constituant ce sous-ensemble sont fixes (f) et disposés dans n'importe quel ordre dans l'arbre d'assemblage.

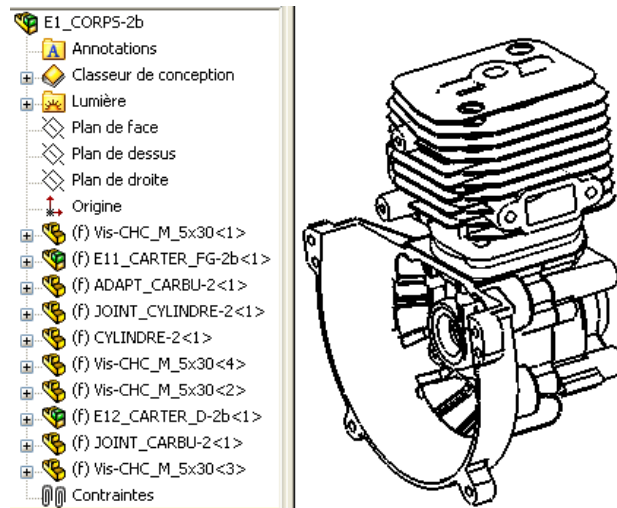


Fig. 2

- **1. Proposer** un ordre correspondant à l'ordre de montage qui devra être respecté dans la réalité pour réaliser ce sous-ensemble.

L'élève, à l'aide des options de visualisation (montrer/cacher) du modeler, identifie par tâtonnement l'ordre de montage du modeler.

Sous Solidworks, penser à activer la touche Alt lors du déplacement d'un composant dans l'arbre pour éviter de le déplacer dans un sous-ensemble.

Cette activité équivalente à l'élaboration d'un graphe de montage permet ici de visualiser à tout instant le résultat de la réflexion. Elle peut conduire au final à la réalisation d'un éclaté (qui n'est qu'une option de visualisation). L'animation de l'éclatement traduit l'ordre choisi.

- **2. Analyser** la liaison entre les deux demi-carter :  
E11\_CARTER\_FG-2b et E12\_CARTER\_D-2b (Fig. 3) : Cacher tous les autres composants.
- **2.1** Étude de la mise en position (MIP) (E11 / E12 ou E12 / E11) :  
Informatiquement, cette liaison va être analysée en :
  - libérant un de ces 2 composants puis en le déplaçant (Fig. 3),
  - recréant les contraintes d'assemblage.

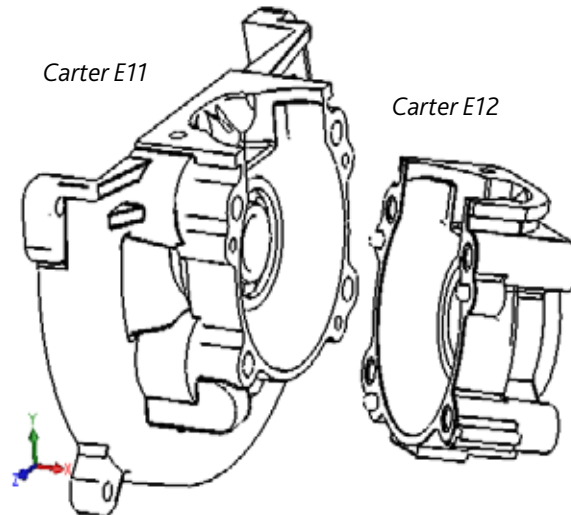


Fig. 3

- 2.1.1 Indiquer, dans l'ordre, les contraintes d'assemblage nécessaires à la réalisation du modèle numérique de cet assemblage.

Préciser les surfaces utilisées ainsi que les degrés de liberté (d°dl) supprimés par chacune (on pourra se servir, pour illustrer la réponse, de la représentation de la Fig. 3 en coloriant le 1<sup>er</sup> couple de surfaces choisi).

**(Appel professeur)**

Les contraintes d'assemblage sont ici utilisées pour mettre en évidence la hiérarchisation des surfaces dans la suppression des degrés de liberté (d°dl). Il est donc évident que leur utilisation par les élèves est quelque peu maîtrisée (ici, coïncidence de 2 plans puis coaxialité des pions avec les perçages correspondants).

En particulier ils doivent avoir l'habitude, après la définition de chaque contrainte, de visualiser les déplacements (d°dl) encore possibles, jusqu'à leur suppression totale.

- 2.1.2 Indiquer si tous les d°dl sont supprimés

On est bien ici dans le cas d'une mise en position complète où tous les d°dl sont supprimés par obstacle.

- 2.1.3 Préciser à l'aide du modèleur s'il est nécessaire d'utiliser les 3 pions. En déduire la condition pour que cet assemblage soit possible dans la réalité

La liaison est ici réalisée entre les 2 pièces maîtresses du carter, d'où un positionnement nécessairement très précis. Deux pions sont nécessaires à positionner les deux carters. Les 3 alésages doivent être parfaitement coïncidents, ce qui permet d'aborder l'hyperstaticité et le lien avec les conditions géométriques.

Même en assimilant chaque pion à un cylindre court, cette liaison est hyperstatique avec 2 pions.

La précision de fabrication permet de lever cette hyperstaticité. C'est également l'occasion de sensibiliser les élèves sur les précautions de montage qu'il sera nécessaire de prendre pour respecter cette précision (bien positionner les deux carters avant la mise en contact).

## - 2.2 Étude du maintien en position (MAP) :

- 2.2.1 Expliquer ce qui se passerait dans la réalité si, lors de l'assemblage, le technicien s'arrêtait à l'étape précédente.

Cette consigne permet à l'élève de s'interroger sur le démontage du carter. C'est l'occasion de rappeler la différence modèle / réel : dans le cas du modèle, la liaison est terminée avec la mise en position.

- 2.2.2 Nommer alors les composants indispensables pour garantir la liaison. Les faire apparaître, s'ils ont été préalablement cachés. Indiquer le critère qui vous a permis de les identifier.

Le modèleur volumique donne essentiellement ici le nom (Vis ...), qui fait partie de la connaissance technologique du technicien de maintenance. De la même façon que lors de son intervention de démontage, c'est à partir de l'identification de la tête de la vis que le technicien choisit l'outillage associé.

- 2.2.3 Sur le modèleur, terminer l'assemblage de chacun de ces composants en reprenant la même démarche que précédemment (Libérer / Déplacer / Définir dans l'ordre les contraintes). Ici on cherchera à définir les contraintes dans un ordre qui correspond au mieux à la simulation de la réalité :
  - (a) : «Je positionne la vis en face de...»
  - (b) : «...»

L'enseignant évalue ici la démarche proposée par l'élève qui, comme à l'atelier, positionne déjà la vis en regard du trou (condition de coaxialité) avant de la visser (condition de coïncidence de plans). Le modèleur permet de visualiser le montage.

- 2.2.4 Les vis exercent un effort presseur : quelle est ici la surface pressée ?  
Y a-t-il une relation entre cette surface et la première surface choisie pour assurer la MIP ?  
Si oui, quelle est cette relation ?

Il s'agit ici, en relation avec la question 2.1.3, de sensibiliser les élèves sur l'importance d'un positionnement correct avant d'effectuer le maintien en position.

## • 3. Vérifier l'assemblage : simulation du montage / démontage

- 3.1 Maintien en position : pour une des vis assemblées précédemment, montrer qu'en supprimant (désactivant) une à une les contraintes dans l'ordre inverse à celui dans lequel elles ont été définies, on peut visualiser le démontage.  
**(Appel Professeur)**

Comme à la question 2.1.3, le modelleur volumique permet de visualiser l'opération de démontage en désactivant les contraintes d'assemblage les unes après les autres dans un ordre choisi.

- **3.2** La suppression une à une des contraintes de la MIP ne permet pas obligatoirement de visualiser l'ordre de démontage si elles ont été hiérarchisées suivant le nombre de d°dl qu'elles suppriment. Proposer une organisation qui permettrait ici de simuler le montage / démontage.

Là, on constate que la désactivation de la coaxialité des pions avec les trous ne correspond pas au démontage du carter. L'opérateur commence par supprimer le contact plan qui correspond à la coïncidence des plans. Il s'agit donc tout simplement d'inverser l'ordre des contraintes.

- **3.3** Conclusion : quelle(s) précaution(s) faudra-t-il respecter lors de l'assemblage réel ?

Cette question nous ramène à une problématique métier liée au montage : il faut veiller à ce que le positionnement préalable des 3 pions ne vienne pas altérer le contact plan (risque d'arc-boutement).

#### • 4. Représenter

- **4.1** En vous aidant d'une vue en coupe judicieusement positionnée sur le modelleur volumique, représenter à main levée, à l'échelle 2, l'assemblage d'une des vis. Identifier, avec l'aide d'un guide du dessin industriel, les différences de représentation à respecter pour représenter correctement cet assemblage.

Comme nous l'avons précédemment souligné, la représentation 2D n'est pas un prérequis, mais fait toujours partie des connaissances à acquérir. C'est l'occasion ici d'aborder la représentation d'une liaison par élément fileté en faisant également le point entre la représentation 3D (Fig. 2.20) et les codes de la représentation 2D, à partir d'une analyse méthodologique et comparative (différence par exemple entre la vis et le pion) de ce que l'on observe et de ce que l'on veut représenter.

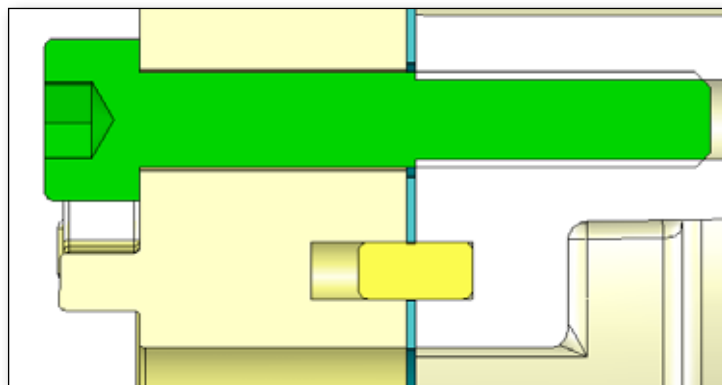


Fig.2.20. Représentation en coupe d'une des vis sur le modelleur volumique

- **4.2** Réaliser cette même représentation avec le modelleur en faisant une mise en plan en coupe

Cette question complète la précédente en proposant une mise en plan. Cette mise en plan doit être alors l'occasion de découvrir les caractéristiques d'une vis (diamètre nominal, longueur sous tête, longueur fileté, type de tête qui va indiquer l'outil de vissage).

Cette partie représentation peut faire l'objet d'une séance complète.

## → C. L'ÉVALUATION

Nous venons de voir au travers de l'activité précédente qu'une évaluation formative peut être mise en place très facilement avec le modèleur volumique.

L'épreuve E11 « Analyse d'un système technique » est directement concernée par l'enseignement de construction. Pour cet examen, les textes de référence proposent des formes d'évaluations terminales différentes suivant les candidats : ponctuelle écrite ou contrôle en cours de formation (CCF) (Fig. 2.21).

Baccalauréat professionnel <i>Maintenance de véhicules automobiles</i> <i>voitures particulières - véhicules industriels - bateaux de plaisance - motocycles</i>								
REGLEMENT D'EXAMEN								
Baccalauréat professionnel Maintenance de véhicules automobiles voitures particulières véhicules industriels bateaux de plaisance motocycles			Candidats de la voie scolaire dans un établissement d'examen public ou privé sous contrat, CFA ou section d'apprentissage habilités, formation professionnelle continue dans un établissement public		Candidats de la voie scolaire dans un établissement d'examen public ou privé sous contrat, CFA ou section d'apprentissage habilités, formation professionnelle continue dans un établissement public		Candidats de la voie scolaire dans un établissement d'examen public ou privé sous contrat, CFA ou section d'apprentissage habilités, formation professionnelle continue dans un établissement public	
Épreuves	Unité	Coef	Forme	Durée	Forme	Durée	Forme	Durée
<b>E1 - Épreuve scientifique et technique</b> <i>Sous-épreuve E11</i> Analyse d'un système technique		5						
	U11	2	Écrite	3 h	Écrite	3 h	CCF	
<b>E3 - Épreuve pratique prenant en compte la formation en milieu professionnel</b> <i>Sous-épreuve E31</i> Évaluation de la formation en milieu professionnel		8						
	U31	2	CCF		Orale	45 min	CCF	
<i>Sous-épreuve E32</i> Intervention sur véhicule	U32	3	CCF		Pratique	6 h	CCF	

Fig.2.21. Règlement d'examen du Bac Pro MVA – définition des épreuves

D'autre part, les activités d'analyse menées en amont de l'activité de maintenance peuvent également être évaluées dans le cadre de l'épreuve E32 (Fig. 2.22), en particulier concernant les compétences suivantes :

- C131 Collecter toutes les données nécessaires à une intervention.
- C132 Utiliser les outils de communication.
- C221 Analyser, interpréter, traiter toutes les informations nécessaires au diagnostic et émettre des hypothèses.

### b) E32- Contrôle en cours de formation

Le contrôle en cours de formation comporte une situation d'évaluation organisée par les professeurs chargés des enseignements technologiques et professionnels durant le temps de formation.

Fig.2.22. Règlement d'examen du Bac Pro MVA p.90) – Contrôle en cours de formation pour l'épreuve E32.

Cette évaluation ne peut avoir lieu qu'en accord avec les directives définies dans le référentiel (Fig. 2.23) et dans le cadre d'une organisation concertée de l'équipe pédagogique dont l'objectif est de vérifier que l'élève est en mesure « *d'agir en compréhension* ».

Les enseignements de construction mécanique dans cette section de baccalauréat professionnel ont deux finalités principales. Ils doivent développer d'une part, les aspects fondamentaux liés au génie mécanique et d'autre part, les aspects appliqués à la finalité professionnelle du diplôme.

En ce sens, l'objectif des enseignements des savoirs et compétences construits, est double :

- être l'**outil de compréhension des systèmes, afin de mener la démarche de diagnostic la plus pertinente**,
- être une base de culture de la technologie mécanique, afin de permettre à l'élève d'évoluer avec les innovations techniques.

Fig.2.23. Extrait du Repère pour la formation de Bac Pro MVA (p.18/37)

Les résultats attendus de l'enseignement de l'analyse fonctionnelle et structurale sont rappelés dans le référentiel (Fig. 2.24). La numérotation rajoutée à cet extrait (page 27) nous permet de faire quelques commentaires sur l'utilisation du modeler en fonction des différentes parties concernées :

- les chapitres repérés 1.1.2 (**Identification** des données et des relations liant les paramètres d'entrée et de sortie des systèmes ou sous-systèmes), 1.1.3 (**Explicitation** d'un fonctionnement) et 1.1.5 (**Identification**, pour une fonction technique donnée, des critères, niveaux et flexibilité) concernent la vérification des données du cahier des charges fonctionnel ;
- les chapitres repérés 1.1.6 (**Identification** des solutions constructives associées aux fonctions techniques élémentaires) et surtout 1.2.1 (**Identifier** les surfaces, volumes, et spécifications participant d'une fonction technique donnée) concernent l'analyse ;
- le chapitre repéré 2.1 (**Recherche** d'une information technique ou d'un composant dans une base de données (catalogue, ouvrage de référence, réseau)) concerne le traitement des données.

Pour la partie production, l'analyse des différents items nous conduit à considérer que :

- Chapitre 3.1 « **Réalisation dans des cas simples des calculs de prédétermination touchant à des comportements prévisibles et au dimensionnement d'un élément, des composants, des constituants** » : le modeler, ou du moins l'outil de simulation associé, interviendra uniquement dans l'analyse de résultats, éventuellement dans la définition de paramètres d'entrée en relation avec le chapitre 1.1.2.
- Chapitre 3.2 « **La réalisation des croquis ou schémas des solutions techniques** » sera conduite à partir des données numériques, ce qui permettra ainsi de s'affranchir des difficultés de représentation et de lecture de représentations 2D de mécanismes complexes.
- Chapitre 3.3 « **Extraction d'une mise en plan 2D d'un sous-ensemble en exploitant l'outil informatique** » est à utiliser avec quelques précautions. On peut demander par exemple une représentation d'une vue extérieure dans une position particulière permettant de porter une annotation (hauteur de chasse correspondant à une longueur particulière des amortisseurs, représentation de la position du vilebrequin correspondant à la vitesse maxi du piston identifiée sur une courbe, représentation d'un éclaté...). Cependant, toute représentation interne d'un mécanisme, quel que soit son niveau de complexité, doit être évitée pour ne pas se retrouver hors des compétences demandées à un élève de BacPro MVA, car elle fait intervenir des connaissances liées à la spécificité de tel ou tel outil CAO (gestion des hachures, identification des éléments exclus de la coupe, ...).

- Chapitre 3.4 « **Édition de représentations répondant à un besoin de maintenance par l'exploitation informatique d'un modèle numérique en 3D** ». La production d'un éclaté, soit en mise en plan, soit animé en 3D, avec une éventuelle sortie en eDrawings, constitue une activité à privilégier. Son évaluation peut être associée à l'analyse de la définition des contraintes d'assemblage associées elles-mêmes à l'activité de montage / démontage.
- Chapitre 3.5 « **Exploitation d'une nomenclature** » est identique à l'exploitation de l'arbre d'assemblage, en particulier dans la désignation des composants. La recherche des informations techniques portées est en lien avec l'analyse.

*Baccalauréat professionnel Maintenance de véhicules automobiles  
voitures particulières – véhicules industriels – bateaux de plaisance – motocycles*

## S1 – CONSTRUCTION ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE

### C - RÉSULTATS ATTENDUS

#### C1. ANALYSE

##### 1.1. Analyse d'un ensemble ou sous-ensemble :

- 1.1.1. **Identification** de la frontière, l'environnement, la fonction globale du système étudié.
- 1.1.2. **Identification** des données et des relations liant les paramètres d'entrée et de sortie des systèmes ou sous-systèmes.
- 1.1.3. **Explicitation** d'un fonctionnement.
- 1.1.4. **Identification**, classification des différentes fonctions (de service, d'usage, d'estime, fonction principale, fonction complémentaire).
- 1.1.5. **Identification**, pour une fonction technique donnée, des critères, niveaux et flexibilité.
- 1.1.6. **Identification** des solutions constructives associées aux fonctions techniques élémentaires.

##### 1.2. Analyse d'un élément d'un ensemble :

- 1.2.1. Identifier les surfaces, volumes, et spécifications participant d'une fonction technique donnée.

#### C2. TRAITEMENT

- 2.1. **Recherche** d'une information technique ou d'un composant dans une base de données (catalogue, ouvrage de référence, réseau).
- 2.2. **Mise en œuvre** d'une procédure de recherche documentaire sur réseau (Internet - Intranet) et la minimiser (syntaxe - mots clés).

#### C3. PRODUCTION

- 3.1. **Réalisation**, dans des cas simples, des calculs de prédétermination touchant à des comportements prévisibles et au dimensionnement d'un élément, des composants, des constituants.
- 3.2. **Réalisation** des croquis ou schémas des solutions techniques.
- 3.3. **Extraction** d'une mise en plan 2D d'un sous-ensemble en exploitant l'outil informatique.
- 3.4. **Édition** de représentations répondant à un besoin de maintenance par l'exploitation informatique d'un modèle numérique en 3D.
- 3.5. **Exploitation** d'une nomenclature.

Fig.2.24. Extrait du référentiel de Bac Pro MVA (p.27) – résultats attendus en construction



On peut donc considérer deux situations :

- 1- L'épreuve E11, qui correspond à l'analyse d'un système technique, est évaluée ponctuellement au travers d'une épreuve écrite.

Toute évaluation intermédiaire est alors essentiellement formative. On peut reproduire des activités et/ou des questionnements similaires à ceux que l'on trouve sur un sujet écrit (voir par exemple, sur le site Educauto, le sujet 2008) :

- « *identification de composants associés à une fonction donnée,*
- *identification et coloriage de surfaces associées à une fonction,*
- *visualisation, analyse des mouvements conduisant à lire ou compléter un schéma cinématique,*
- *analyse de la morphologie et de la définition d'une pièce.»*

Le modelleur, d'abord utilisé pour s'affranchir des difficultés de représentation, sera alors, au cours des différents exercices, progressivement retiré au profit de la représentation 2D, afin que l'élève soit en mesure de traiter la question écrite.

- 2- Les épreuves sont réalisées en CCF.

Dans ce cas, le choix du support de l'information technique (tout papier/tout numérique/mix) est laissé à l'appréciation de l'équipe pédagogique ou du regroupement.

Mais dans le cas de l'épreuve E32 (Intervention sur véhicules), si la validation des compétences C131, C132, C221 est réalisée au travers d'un questionnaire de construction, **il est impératif que tous les documents, qu'ils soient numériques ou papier, soient associés au support technique sur lequel l'élève sera amené à intervenir.**

→ *Remarque : on voit ici clairement apparaître l'impérieuse nécessité de donner des documents techniquement conformes.*

Les contenus de cette deuxième partie concernent la place du modelleur volumique dans la progression pédagogique et dans l'évaluation en CCF et des exemples d'activités pédagogiques correspondant à des leçons essentielles en maintenance des véhicules automobiles, que ce soit en CAP ou en Bac Pro. Ils correspondent à une tâche maintenant essentielle de l'enseignant de construction qui est d'exploiter pédagogiquement les modèles numériques.

L'utilisation du modelleur volumique dans l'enseignement de la construction ne suscite plus le moindre doute mais elle constitue encore un défi pour l'enseignant car elle bouleverse beaucoup d'habitudes.

Elle impose également à l'enseignant une appropriation de l'outil CAO qui peut lui paraître sans limite. Pourtant, comme nous l'avons vu dans la partie 1, le temps nécessaire à cette appropriation peut être modeste si l'on s'en tient aux besoins de l'enseignant qui sont liés aux savoirs à enseigner. Il ne s'agit pas en effet de savoir représenter un ressort ou de savoir concevoir un système mécanique en partant d'un écran vierge. Au contraire, en s'appuyant sur l'activité métier de maintenance des véhicules automobiles, l'enseignant de construction utilise des systèmes mécaniques existants dont la validation technique a été éprouvée et à partir desquels il construit son enseignement.

L'enseignant, grâce à l'outil modelleur, aborde rapidement des systèmes de la spécialité maintenance, donne du sens aux différents types de représentation et propose des activités pertinentes sur les savoirs technologiques fondamentaux (Cf. Partie 2). Sur les exemples présentés, la correspondance entre les intentions pédagogiques du professeur de construction et l'action sur le modèle numérique paraît évidente.

Pour conclure, nous proposons d'analyser le travail d'un enseignant de construction qui prépare une activité utilisant le modelleur volumique. Les tâches à accomplir peuvent être décrites en quatre étapes (Fig. 3.1) : la récupération des données (rechercher et importer un modèle numérique), l'analyse du modèle récupéré, l'adaptation de ce modèle pour le rendre exploitable et enfin la préparation de l'exploitation pédagogique pendant laquelle l'enseignant organise son modèle en fonction de son objectif pédagogique (pour le mettre à la disposition des élèves). La hauteur des différentes étapes indique le poids relatif qu'il doit y consacrer. On voit sur ce graphique que le travail essentiel de l'enseignant est centré sur l'exploitation pédagogique.

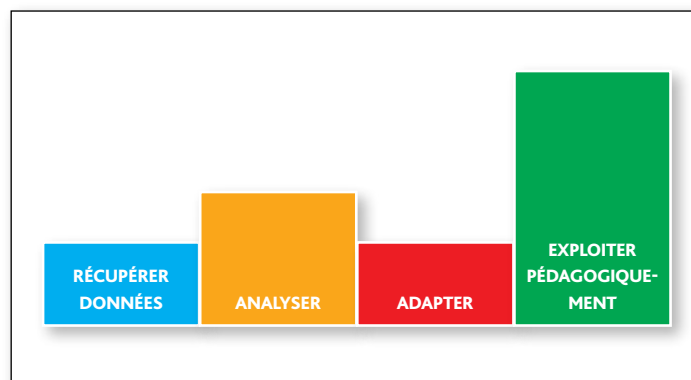


Fig. 3.1. Tâches de l'enseignant de construction avec le modelleur volumique

Nous pouvons illustrer ces quatre étapes par les exemples proposés dans ce dossier.

La première étape consiste à récupérer des données. De nombreux sites académiques proposent des modèles numériques. Le temps passé à cette première phase dépend de l'adéquation entre l'objectif pédagogique de l'enseignant et les supports proposés et surtout de la taille des fichiers à télécharger. Les fichiers de la poignée de frein, de la fourche et du moteur de débroussailleuse sont de tailles limitées. Le suivi des quelques règles énoncées dans la partie 1 sur la gestion des données permettent alors d'éviter de perdre une partie des données téléchargées.

La deuxième étape d'analyse conduit l'enseignant à valider les supports pour les objectifs pédagogiques qu'il s'est fixé. La poignée de frein (avec le site Beringer®) est adaptée à une première leçon sur les outils de communication ; la fourche avec un nombre de pièces limité se révèle pertinente pour une leçon sur l'analyse du fonctionnement d'un système (découverte des ensembles cinématiquement équivalents et des liaisons) ; le moteur de débroussailleuse avec ses deux carters est approprié pour une leçon de découverte de la liaison encastrement (liaison classique entre deux carters pour un technicien de maintenance).

La troisième étape concerne l'adaptation du modèle numérique pour qu'il soit exploitable pédagogiquement. L'enseignant doit pouvoir faire travailler les élèves sur le modeleur en suivant une démarche pédagogique cohérente. Pour préparer l'activité sur la poignée de frein, le modèle est proposé aux élèves avec les ensembles cinématiquement équivalents pour pouvoir animer le fonctionnement du système (Fig. 2.10). Pour la fourche de VTT, l'élève doit construire les ensembles cinématiquement équivalents. Le modèle numérique fourni possède donc toutes les pièces fixées et au même niveau dans l'arbre de construction (Fig. 2.12). L'enseignant a également supprimé les pièces qui ne sont pas indispensables à la réalisation de l'activité. Enfin, pour le moteur de débroussailleuse, l'ensemble fixe E1-CORPS (Fig. 2 du document élève) a été modifié avec la mise à disposition des 2 sous-ensembles participant à la liaison encastrement et des éléments participant à l'assemblage (vis, pions, joint) (Fig. 2 du document élève).

La dernière étape concerne l'exploitation pédagogique du modeleur. Elle conduit à la construction d'un scénario d'apprentissage et à l'élaboration de documents élèves. Les exemples présentés en partie 2 sont le résultat de ce travail d'exploitation pédagogique.

La description de ces différentes tâches et de leur poids relatif semble utopique, en particulier pour l'enseignant de construction qui a déjà travaillé sur l'outil CAO. En effet, les maquettes numériques disponibles sur les sites académiques conduisent encore souvent à des temps de récupération des données très longs dus à la taille des fichiers et à une analyse parfois compliquée, car les fichiers sont soit incomplets, soit contestables d'un point de vue technique. L'enseignant passe alors un temps prohibitif pour récupérer les modèles numériques et les adapter à l'activité pédagogique souhaitée, ce qui lui laisse moins de temps pour la construction pédagogique de son activité (qui est le cœur de son métier) (Fig. 3.2).

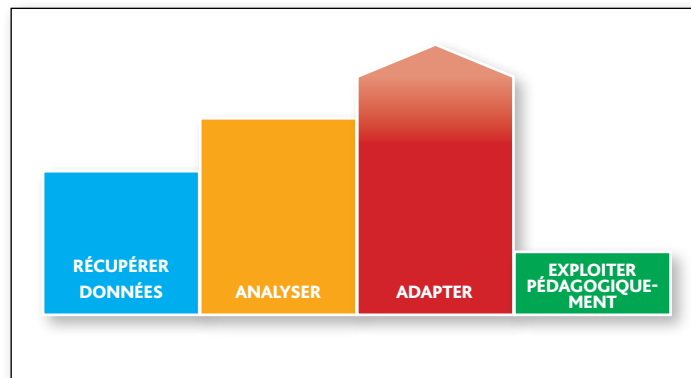


Fig. 3.2. Tâches de l'enseignant de construction avec le modeleur volumique

Ce dossier technique après une présentation des modeleurs volumiques s'est principalement focalisé sur la dernière tâche de l'enseignant qui doit rester prépondérante : exploiter pédagogiquement le modèle numérique. Les différentes maquettes numériques mises à disposition sur le site Educauto sont techniquement correctes et peuvent être adaptées facilement par l'enseignant en fonction de son objectif de séance.

→ Source : [www.educauto.fr](http://www.educauto.fr)

Cet ensemble d'outils à la disposition de l'enseignant de construction permet de tendre vers le schéma de la Fig. 3.1 et d'explicitier l'exploitation pédagogique avec l'outil CAO. Ils sont là pour aider l'enseignant à relever le défi de l'utilisation du modeleur volumique dans les filières de maintenance des véhicules automobiles.

## → OUVRAGES ET ARTICLES

**CARTONNET Y., LEBEAUME J., VERILLON P., (2002)**

*Séminaire de didactique des disciplines technologiques, Cachan 1999-2000, Actes ENS CACHAN - INRP.*

**MUSIAL M., RUBAUD M., (2010)**

*Enseigner en STI pour que les élèves apprennent, Ed. Cépaduès.*

**TARAUD D., (2008)**

*Le guide de la CAO, Ed. Dunod.*

**LABELLE D. STEPHAN P., (2007)**

« Réflexions sur l'utilisation d'un logiciel de calcul de structures », *Technologies*, n° 147.

**LABELLE D., STEPHAN P., (2010)**

« Du bon usage des modeleurs volumiques », *Technologies*, n° 166.

## → SITES INTERNET

**Site CAO.fr, le portail de la CAO et du PLM :**

→ <http://www.cao.fr>

**Site BERINGER :**

→ <http://www.behringer.com>

**Site EDUCAUTO :**

→ <http://www.educauto.org>



### [ SIÈGE NATIONAL ]

#### → ANFA

41-49 rue de la Garenne  
92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.16.18 ; fax : 01.41.14.16.00  
[www.anfa-auto.fr](http://www.anfa-auto.fr)

### [ DÉLÉGATIONS RÉGIONALES ]

#### → ANFA Aquitaine, Poitou-Charentes

Parc technologique de Canteranne  
15 avenue de Canteranne - 33600 Pessac  
Tél. : 05.56.85.44.66 ; fax : 05.56.49.34.02  
e-mail : [bordeaux@anfa-auto.fr](mailto:bordeaux@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Auvergne, Limousin

1 rue Képler - 63100 Clermont-Ferrand  
Tél. : 04.43.76.10.50 ; fax : 04.73.92.13.25  
e-mail : [clermont@anfa-auto.fr](mailto:clermont@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Bretagne, Pays de la Loire

2 cours des Alliés - CS 21242 - 35012 Rennes Cedex  
Tél. : 02.22.74.14.80 ; fax : 02.23.42.08.04  
e-mail : [rennes@anfa-auto.fr](mailto:rennes@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Centre, Basse-Normandie, Haute-Normandie

Parc d'Activité de la Saussaie  
98 rue des Hêtres - Saint Cyr en Val  
45075 Orléans Cedex 2  
Tél. : 02.18.84.23.63 ; fax : 02.38.57.26.10  
e-mail : [orleans@anfa-auto.fr](mailto:orleans@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Franche-Comté, Bourgogne

Le Forum - 5 rue Albert Thomas - 25000 Besançon  
Tél. : 03.70.72.12.45 ; fax : 03.81.82.17.38  
e-mail : [besancon@anfa-auto.fr](mailto:besancon@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Île-de-France

41-49 rue de la Garenne - BP 93 - 92313 Sèvres Cedex  
Tél. : 01.41.14.13.07 ; fax : 01.41.14.16.56  
e-mail : [sevres@anfa-auto.fr](mailto:sevres@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées

570 cours de Dion Bouton - 30899 Nîmes  
Tél. : 04.30.92.18.53 ; fax : 04.66.21.32.01  
e-mail : [nimes@anfa-auto.fr](mailto:nimes@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Lorraine, Alsace, Champagne-Ardenne

7 rue Jean-Antoine Chaptal - 57070 Metz  
Tél. : 03.55.35.10.70 ; fax : 03.87.74.21.29  
e-mail : [metz@anfa-auto.fr](mailto:metz@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Picardie, Nord-Pas-de-Calais

Immeuble Sanelec - ZAC La Vallée  
Rue Antoine Parmentier - 02100 Saint-Quentin  
Tél. : 03.64.90.12.60 ; fax : 03.23.64.30.36  
e-mail : [stquentin@anfa-auto.fr](mailto:stquentin@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse

Parc Club des Aygalades - 35 boulevard du Capitaine Gèze  
Bâtiment D - 13014 Marseille  
Tél. : 04.86.76.15.70 ; fax : 04.91.67.33.23  
e-mail : [marseille@anfa-auto.fr](mailto:marseille@anfa-auto.fr)

#### → ANFA Rhône-Alpes

Zac La Fouillouse - Parc des Lumières  
6 rue Nicéphore Niepce - 69800 Saint-Priest  
Tél. : 04.72.01.43.93 ; fax : 04.72.01.43.99  
e-mail : [rillieux@anfa-auto.fr](mailto:rillieux@anfa-auto.fr)