

Meca3D : l'arrivée des antiretour

RENÉ BONCOMPAIN, MICHEL BOULATON, JACKY RÉA⁽¹⁾

Comment modéliser des mécanismes à mobilité variable en fonction du sens de mouvement ? Ce qui ne semblait pas possible jusqu'alors l'est dorénavant avec la version améliorée du logiciel de simulation mécanique Meca3D, qui invente la liaison pivot antiretour et la liaison glissière antiretour. Deux exemples industriels sont traités, le variateur Zero-Max et le mécanisme de traction Tirvit.

mots-clés

dynamique, logiciel, mécanique, modélisation, simulation



1 Le variateur Zero-Max

Le variateur Zero-Max

Le mécanisme étudié est un variateur de vitesse mécanique 1 2 aux domaines d'utilisation divers : agriculture, alimentation, emballage, impression, laboratoires, industrie textile... Il est fabriqué par la société Zero-Max (USA).

La puissance transmise s'échelonne entre 0,11 et 1,1 kW suivant le modèle.

La vitesse d'entrée peut s'étagier entre 0 et 2000 tr/min.

La vitesse de sortie est réglée à l'aide d'un levier de commande. Elle varie depuis une valeur nulle jusqu'au quart de la vitesse d'entrée environ. Un verrouillage maintient le réglage.

Le sens de la vitesse de rotation de l'arbre de sortie peut être inversé, en passant par un point mort.

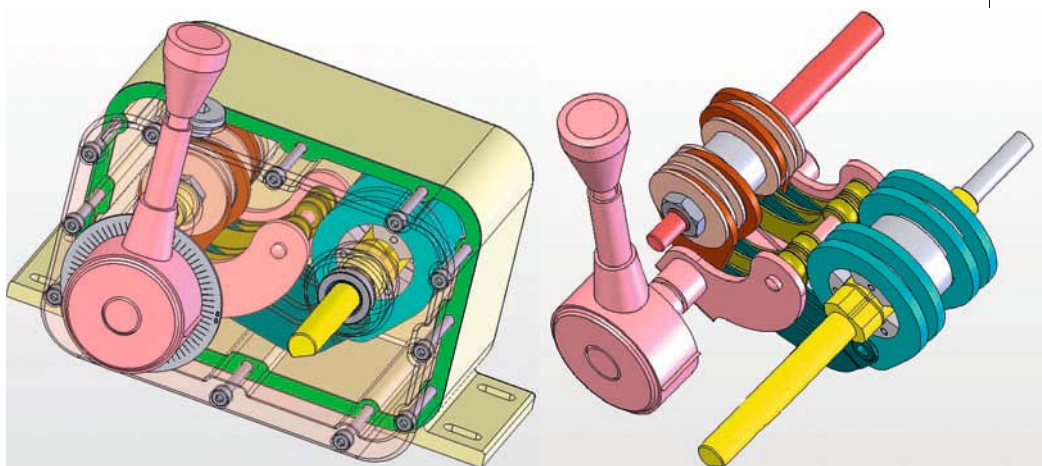
L'entraînement est positif pour les charges résistantes, mais l'arbre de sortie sera en roue libre si la charge devient motrice.

Le variateur est composé de quatre mécanismes d'entraînement plans identiques montés en parallèle 3.

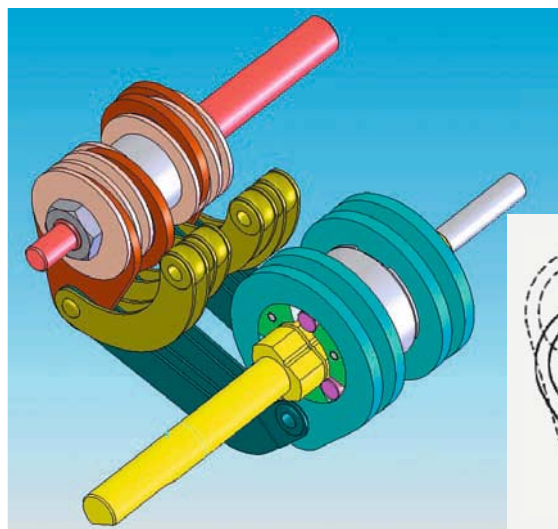
● **La variation de vitesse**

L'arbre E excentrique entraîne l'arbre de sortie S par l'intermédiaire des bielles coudées.

Les oscillations de S sont transformées en rotation continue par des roues libres montées autour de l'arbre de sortie.



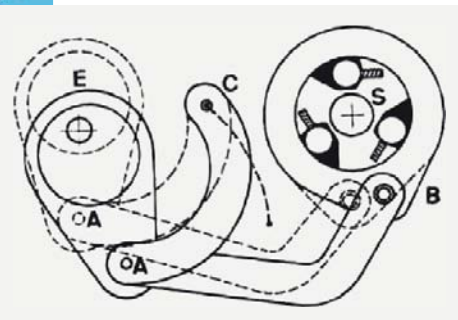
2 Le variateur modélisé sous SolidWorks



3 Le fonctionnement du variateur

Le point C, fixe dans le bâti pour un réglage donné, admet une position variable dans le bâti, et celle-ci détermine le rapport de vitesse.

Le sens de rotation de l'arbre de sortie peut être inversé par un système de roues libres montées autour de l'arbre de sortie.



● Le changement de sens de rotation et le point mort

Le fonctionnement des roues libres est détaillé en **4**.

L'arbre de sortie **9** est entraîné en rotation dans le sens 1 par l'oscillation de la biellette **8** **4a**.

La figure **4c** montre l'entraînement de l'arbre **9** dans le sens 2.

Enfin la figure **4b** représente le point mort. La vitesse de sortie est nulle.

Un mécanisme permet le positionnement angulaire des supports de ressort **12** par rapport aux méplats de l'arbre **9** et donc le réglage du sens de fonctionnement des roues libres.

La création du modèle mécanique

Une nouvelle liaison est disponible dans Meca3D: la liaison pivot anti-retour **5**. Dans sa phase d'entraînement, cette liaison ne permet aucun glissement.



Mouvement autorisé

- Sens trigo
- Sens horaire

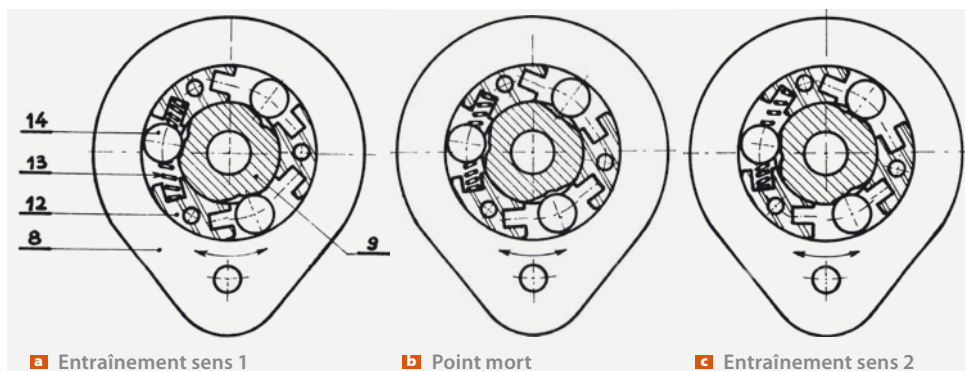
5 La liaison pivot antiretour

Sa création requiert les mêmes données que celles d'une liaison pivot. Il suffit seulement de préciser le sens de rotation autorisé.

Une telle liaison sera créée entre la biellette **8** et l'arbre de sortie **9**. Cette création sera répétée quatre fois pour définir les quatre mécanismes montés en parallèle.

Selon la phase de fonctionnement, le mouvement relatif entre les pièces existe ou non, induisant une modification du degré de mobilité de l'ensemble. Cette évolution ne peut être prise en compte dans Meca3D que dans une étude dynamique.

Il est à noter que l'analyse préliminaire qui donne la mobilité du



4 Les roues libres

No.	Liaison	Composante	Type Mvt.	Vitesse
1	Pivot entrée	Rx (1.2490...	Uniforme	100.000000
2	Pivot réglage	Rx (2.4779...	Uniforme	0.000000
3	Pivot sortie	Rx (1.1793...	Libre	0.000000

Mouvements d'entrée

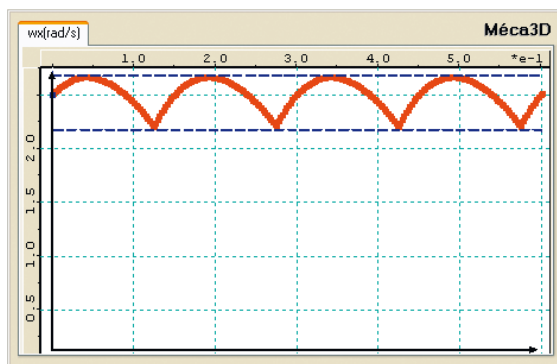
Type d'étude: Etude dynamique

Nbre de positions: 150

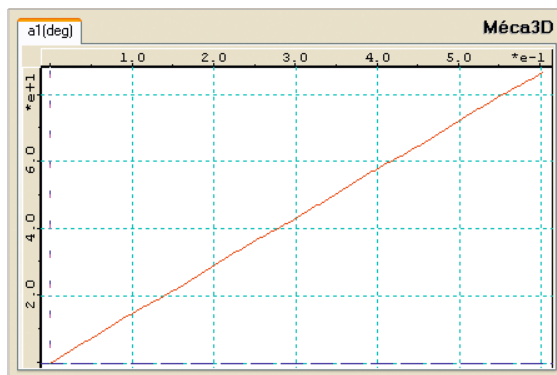
Durée du mouvement (sec): 0.60000

Commentaires:

6 Le réglage de la simulation



7 L'évolution de la vitesse de rotation de l'arbre de sortie en fonction du temps



8 L'amplitude de rotation de l'arbre en fonction du temps

système suppose que la liaison est un pivot, quel que soit son comportement effectif.

Dans le cas de mécanismes d'entraînement en parallèle comme ceux du variateur Zero-Max, c'est le mécanisme le plus rapide qui impose sa vitesse.

La simulation **6** est réalisée dans le cadre d'un dispositif de réglage figé (levier à 45° environ par rapport à la verticale). Les valeurs des paramètres pilotes du mouvement correspondent à un tour de l'arbre d'entrée à vitesse constante de 100 tr/min. Afin d'assurer le maintien de l'entraînement dans les pivots anti-retour, un couple résistant de 10 Nm exercé par le récepteur est imposé à l'arbre de sortie.

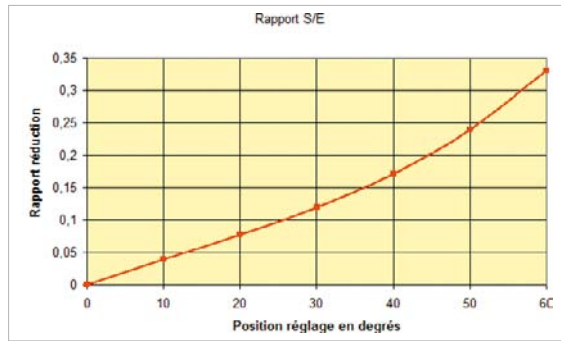
Les résultats obtenus

Le premier résultat à considérer est l'évolution de la vitesse de rotation de l'arbre de sortie en fonction du temps **7**. On note tout d'abord que la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est loin d'être constante. Elle suit une évolution périodique, chaque mécanisme assurant alternativement la conduite de l'arbre de sortie. Son minimum est de 20,7 tr/min; son maximum, de 25 tr/min. Il apparaît clairement 4 arches correspondantes aux 4 mécanismes montés en parallèle.

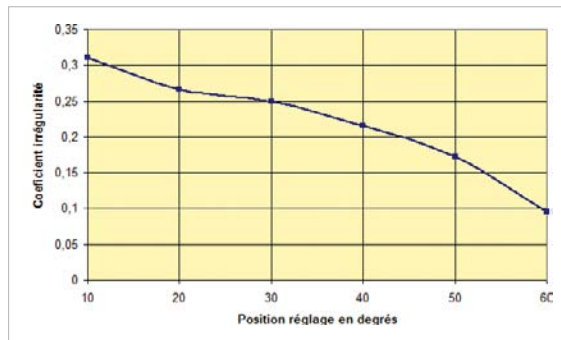
L'amplitude de rotation de l'arbre est représentée en **8** en fonction du temps. De légères fluctuations

[1] Professeurs au LTR La Martinière Monplaisir de Lyon (69).

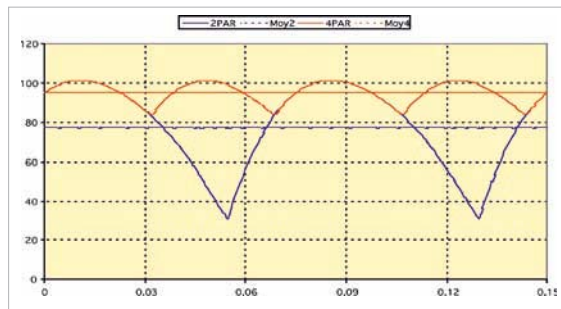
autour de la droite moyenne sont à noter. On observe que, pour un tour de l'arbre d'entrée (360°), on obtient une rotation de 85,4° de l'arbre de



9 Le rapport moyen en fonction de la position angulaire du levier de réglage



10 La variation de la vitesse pour un réglage donné: le coefficient d'irrégularité



11 La vitesse de l'arbre de sortie en fonction du temps pour deux et quatre mécanismes en parallèle

No.	Liaison	Composante	Type Mvt.	Vitesse
1	Pivot entrée	Rx (1.249...	Uniforme	400.000000
2	Pivot réglage	Rx (2.477...	Uniforme	0.000000
3	Pivot sortie	Rx (1.179...	Libre	0.000000

Mouvements d'entrée

Type d'étude: Etude dynamique

Nbre de positions: 250

Durée du mouvement (sec): 0.150000

12 Les conditions de calcul

sortie, soit un rapport moyen d'environ 0,24.

La variation du rapport moyen est obtenue en modifiant la position angulaire du levier de réglage. Des simulations répétées pour des valeurs croissantes de ce réglage donnent le résultat en 9. On constate qu'il s'agit d'un réducteur de vitesse, dont le rapport de réduction varie entre 0 et 0,33.

Pour un réglage donné, la variation de la vitesse sur une période se caractérise par le coefficient d'irrégularité :

$$I = \frac{\omega_{Si \max} - \omega_{Si \min}}{\omega_{Si \max}}$$

On peut noter que l'irrégularité diminue quand le rapport de réduction augmente 10.

L'influence du nombre de systèmes en parallèle

La figure 11 représente la vitesse de l'arbre de sortie en fonction du temps. Elle illustre l'influence du nombre de mécanismes d'entraînement montés

en parallèle. Deux et quatre systèmes ont été testés.

Pour cette étude, les paramètres suivants ont été choisis :

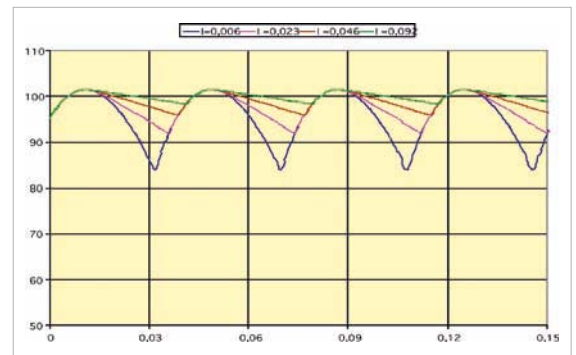
Couple sur l'arbre de sortie: $C = 0,01 \text{ Nm}$
 Fréquence de rotation de l'arbre d'entrée: 400 tr/min
 Pas de volant d'inertie sur l'arbre de sortie

La figure 11 met clairement en évidence le gain de régularité lorsque l'on double le nombre de mécanismes montés en parallèles. On peut également observer que le rapport de transmission moyen est également fonction du nombre de mécanismes d'entraînement: il est de 77,4 tr/min si l'on dispose de deux mécanismes, et de 95,5 pour quatre.

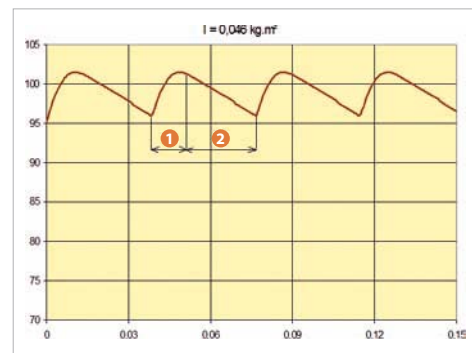
L'influence de l'inertie

La vitesse de l'arbre d'entrée est fixée à 400 tr/min 12; le couple exercé par le récepteur, à 1 Nm. Sur l'arbre de sortie, on définit un volant d'inertie représentant l'inertie équivalente du récepteur entraîné.

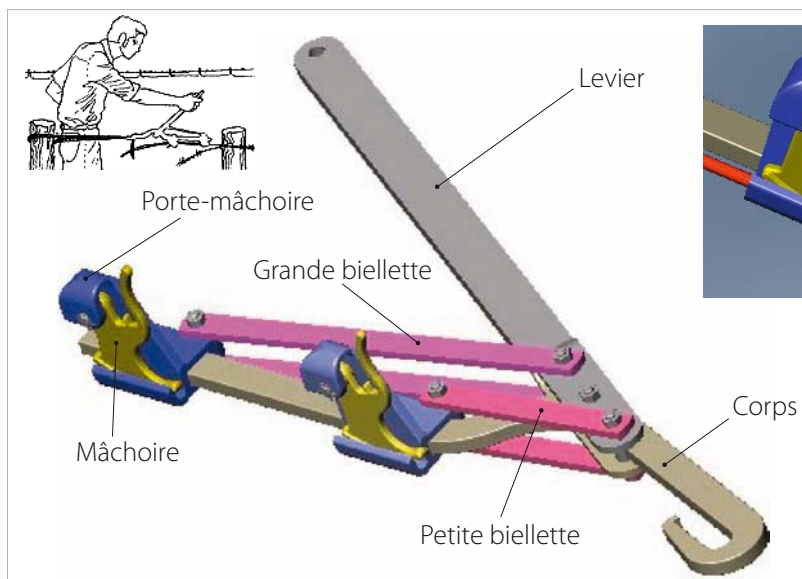
Quatre simulations sont effectuées en faisant varier l'inertie entre 0 et



13 La vitesse de l'arbre de sortie sur une période en fonction de l'inertie



14 La vitesse de l'arbre de sortie avec une inertie donnée



15 Le mécanisme Tirvit en situation et sa modélisation

0,092 kg · m² 15. Les résultats montrent que l'inertie liée au récepteur a un effet « régulateur » sur la vitesse de sortie. En effet, l'amplitude des arches est nettement plus faible quand l'inertie augmente, l'ensemble de sortie n'étant plus « conduit » par le mécanisme à roues libres.

Une étude plus fine de la courbe obtenue avec une inertie $I = 0,046 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ fait apparaître deux zones 1 et 2 distinctes 14 :

- 1 Le système est conduit par les roues libres, il y a contact des galets sur l'arbre de sortie.
- 2 Le système évolue grâce à son inertie, il y a décollement des galets sur l'arbre.

Ces deux zones sont d'autant plus prononcées que l'inertie du récepteur est importante.

L'utilisation d'un logiciel de simulation permet d'analyser et de quantifier ce phénomène lié à l'inertie du récepteur. Une telle étude est analytiquement très difficile. Le logiciel permet d'avoir rapidement des résultats intéressants pour le constructeur utilisateur.

Le mécanisme de traction Tirvit

La fonction du tendeur Tirvit est de multiplier l'effort développé par l'utilisateur. Ce mécanisme est constitué d'un support sur lequel est articulé

un levier entraînant alternativement deux mâchoires auto-serreuses qui font prise sur un câble ou un fil 15. Chaque mouvement du levier déplace les mâchoires en sens inverse sur le châssis, l'une entraînant le câble tandis que l'autre revient librement en avant pour le saisir à son tour lorsque le mouvement du levier s'inverse 15.

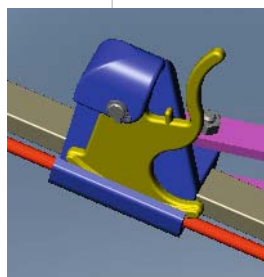
Les avantages

- Pas d'enroulement du filin, tiré comme sur un treuil
- Filin tracté de longueur quelconque

Les principales applications

- Tension des lignes électriques et téléphoniques, clôtures, treillages, haubans et fils de vigne...
- Traction des caravanes, voitures embourbées, machines, embarcations...
- Arrachage des piquets, broussailles, souches...

Ce système comporte deux mâchoires auto-serreuses 16. Le principe est fondé sur l'arc-boutement de la came en liaison pivot avec le guide, qui assure le blocage du câble pour un sens du déplacement de la mâchoire, mais autorise le déplacement relatif dans l'autre sens. Ainsi le câble est alternativement entraîné par une mâchoire ou l'autre. Si la mâchoire M1 entraîne le câble, alors le câble



16 Une mâchoire auto-serreuse

glisse dans la mâchoire M2 et réciproquement. Il s'agit d'un mécanisme anthropomorphique.

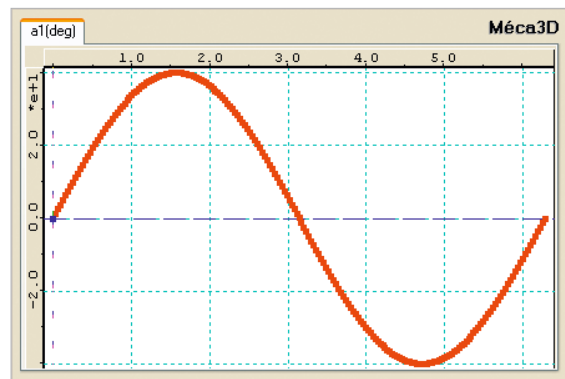
C'est ce comportement que l'on se propose de modéliser à l'aide de liaisons glissières antiretour. Leur création est similaire à celle d'une liaison glissière. Seul le sens du déplacement relatif possible devra être précisé, relativement au sens de l'axe idéal de la liaison 17.



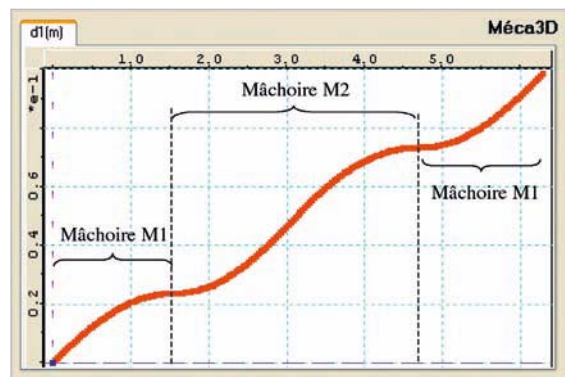
17 Le sens du déplacement relatif

La simulation est ensuite effectuée, sur un mouvement sinusoïdal aller et retour du levier de commande, d'une amplitude de 40° 18.

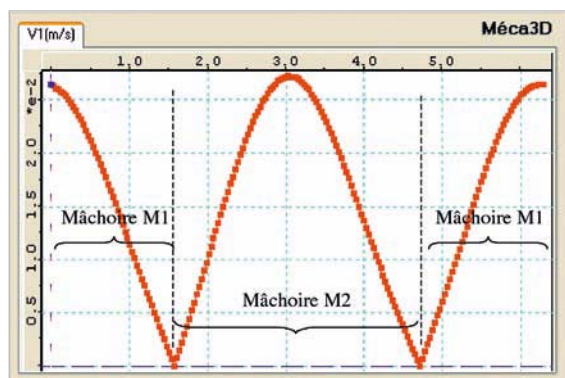
On obtient en sortie le mouvement de translation du câble, représenté en 14 en fonction du temps. De légères fluctuations autour de la droite moyenne sont à noter, correspondant



18 Le déplacement du levier de commande



14 Le déplacement du câble par rapport au bâti



20 La vitesse de déplacement du câble par rapport au bâti

à la loi du mouvement d'entrée et à la transformation de mouvement.

On constate que, pour une période d'oscillation du levier pilote, on obtient une translation de 98,4 mm du câble entraîné. La courbe de vitesse 20 de translation du câble montre que celle-ci n'est pas constante. Elle varie d'un minimum de 0 mm/s à

un maximum de 25 mm/s. Il apparaît clairement 2 arches correspondantes aux 2 mâchoires montées en parallèle, et assurant l'entraînement successivement.

La simplicité au service de la complexité

Le logiciel Meca3D est comme le bordeaux, il se bonifie au cours du temps...

La mise en œuvre des liaisons antiretour permet d'étudier toute une classe de mécanismes jusque-là impossibles à traiter.

En définitive, la plage d'études couverte grâce à ce logiciel est extrêmement vaste. On modélise ainsi des fonctionnements cinématiques de base jusqu'à des phénomènes dynamiques complexes. Pourtant, l'interface de travail reste simple et *en phase avec les concepts développés dans le cours de mécanique.*

Ce logiciel, d'accès simple, a désormais sa place à tous les niveaux de formation. Il accompagne et prolonge l'emploi des modeleurs géométriques tridimensionnels. Il autorise la prévision de comportement de mécanismes et de phénomènes complexes, notamment dans le domaine dynamique où la résolution analytique est impossible. ■

Pour se les procurer

Meca3D est distribué par la société:
Atemi

136, chemin du Moulin-Carron
Norly 3 BP 81
69132 Écully Cedex
Tél.: 04 78 43 28 40 www.atemi.fr

Zero-Max et **Tirvit** sont deux systèmes pédagogiques distribués par la société:

Alira
22, route de Saint-Quentin
38210 Tullins
Tél.: 04 76 31 29 24 www.alira.fr