

Liaisons mécaniques: les maquettes didactiques sensorielles (première partie)

YVES BRACCINI, ROBERT GOURHANT¹

L'enseignement de la construction et de la mécanique est difficile, et nombre d'élèves ne parviennent pas à passer du réel au modèle théorique, pour des raisons multiples. Les auteurs ont identifié un certain nombre d'entre elles, ce qui les a conduit à créer un objet inédit (et breveté) : la maquette didactique sensorielle.

Testée avec succès dans leurs classes, cette innovation pédagogique a été présentée au Concours international de recherches éducatives et de créations (Cirec), parrainé

par le ministère de l'Éducation nationale. Elle a obtenu le premier prix (le Cirec d'or) en 2002.

Quels sont les problèmes qui ont conduit à l'invention des maquettes sensorielles ? Quel est le principe de celles-ci ? Telles sont les deux questions auxquelles les auteurs répondent dans cette première partie. Dans la seconde, ils aborderont quelques points particuliers, sources principales de difficultés pour les élèves.

MOTS-CLÉS mécanique, liaison, modélisation, équipement didactique, prébac

LES CONSTATATIONS

Une perte de la dimension physique des phénomènes

C'est l'observation, dans notre pratique quotidienne, des comportements des élèves et de la construction de leurs représentations mentales qui nous a permis de le constater : certains – de plus en plus nombreux – n'arrivent pas à se représenter une forme, un mouvement, une force, un moment, une sollicitation dans les trois dimensions de l'espace. Ils font difficilement la relation entre un phénomène physique (un déplacement, une déformation...) et la cause qui l'a provoqué (une action mécanique représentée par un modèle glisseur ou torseur).

Ce constat est pris en compte dans les référentiels de STI, Initiation aux sciences de l'ingénieur (ISI) et Scientifique – Sciences de l'ingénieur (S-SI), qui préconisent une approche inductive d'enseignement de la construction et de la mécanique à partir du réel (mécanismes réels présentés en mallettes, maquettes didactisées, dispositifs expérimentaux de mesure) et de sa représentation au plus proche (maquettes 3D volumiques). Notre démarche s'inscrit dans cette approche, et l'approfondit. Il manquait en effet des objets permettant de faire sentir les phénomènes en relation avec les mécanismes.

Une difficulté à décontextualiser

Lorsque l'élève identifie une liaison dans un objet technique (un scooter électrique, une ponceuse à disque...), elle a un sens pour lui. Cette démarche crée une motivation. Malheureusement, l'élève se construit une représentation qui est souvent trop liée à cet objet, et il s'en détache parfois difficilement. «Aujourd'hui, j'ai travaillé sur le scooter électrique», dira-t-il par exemple. Mais rarement : «Aujourd'hui, j'ai travaillé sur la reconnaissance des liaisons du mécanisme.»

Pour modéliser, il faut souvent «décontextualiser». En saisissant une maquette correspondant à la liaison observée sur le réel (ou à sa représentation), en la plaçant dans la même position dans l'espace et en la manipulant, l'élève entre en relation avec une réalité à la fois plus concrète (il peut manipuler selon son désir) et plus générale (la liaison n'est pas le décalque de celle observée).



▲ Figure 1. Un exemple de liaison pivot

Actuellement, les liaisons matérielles didactiques déjà commercialisées sont composées de solides dont les formes sont éloignées du symbole ISO, et l'élève ne fait pas facilement le lien avec la liaison étudiée. D'autre part, elles sont souvent posées sur un support qui impose une position qui n'est pas celle occupée par la liaison dans le mécanisme. Nous avons besoin de maquettes matérielles dont la forme est proche du symbole ISO et qui soient orientables dans toutes les positions de l'espace (figure 1).

La simulation numérique mérite d'être interprétée physiquement

La simulation de l'évolution des efforts aux liaisons est possible à partir du modèle 3D et d'un logiciel de calcul, mais la réalité physique des résultats échappe souvent aux élèves. Dans la perforatrice (figure 2), par exemple, on peut mettre en évidence par simulation la variation des composantes X_A et Y_A d'un effort $A_{2/4}$ selon les différentes positions, mais quelle interprétation physique donner à la modification de la direction de la force ? Quelles

1. Respectivement : professeur de construction mécanique au LP Prieur-de-la-Côte-d'Or à Auxonne (21); professeur de génie mécanique au lycée Gaston-Bachelard à Chelles (77) et formateur associé à l'IUFM de Créteil.

conséquences sur le comportement des liaisons? Comment ancrer l'idée qu'il est nécessaire de bien guider la tige perforatrice ④ pour mieux supporter l'effort incliné?

Une difficulté à isoler des couples de pièces en faisant abstraction du contexte

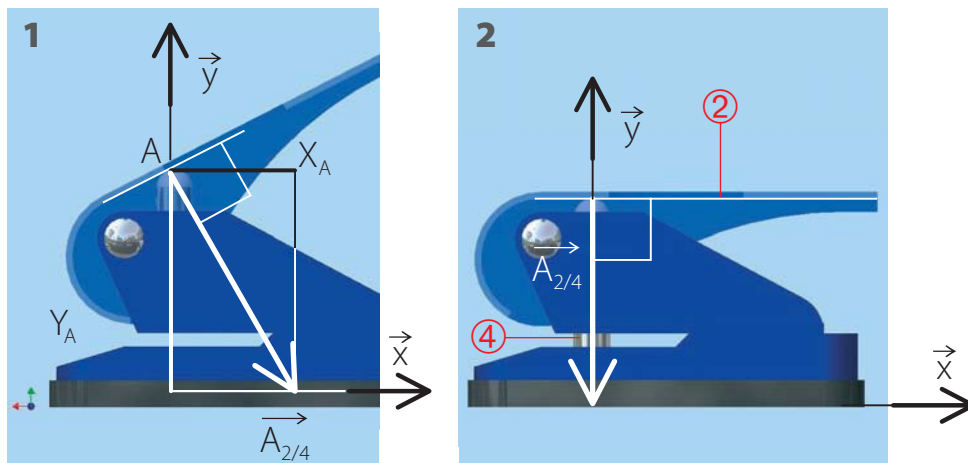
Lorsque les élèves étudient un mécanisme, ils ont souvent des difficultés à se concentrer sur les couples de pièces en contact, à considérer le mouvement d'un solide par rapport à un solide de référence. Ils en restent souvent aux apparences : le mouvement résultant de plusieurs liaisons.

Combien de fois avons-nous vu, dans les schémas cinématiques de nos élèves, le piston d'un moteur ou d'un compresseur alternatif en liaison glissière par rapport au bâti parce qu'il a un mouvement de translation dans le mécanisme? Difficile de comprendre que ce piston a ce mouvement parce qu'il est aussi en liaison avec une bielle, qui elle-même ne peut pas tourner autour de l'axe du cylindre! L'analyse des liaisons en série est impossible si l'on n'a pas d'abord identifié la relation qui lie chaque couple de pièces.

Actuellement, il n'y a aucun moyen matériel pour faire cette étude par l'observation : soit le mécanisme est monté et l'on n'a pas accès aux différentes liaisons prises séparément, soit il est démonté et les liaisons sont rompues. Il est parfois possible de reconstituer des couples de liaisons, après démontage, mais leur manipulation n'est pas toujours facile, et la perception des mains, éloignées du centre de la liaison, n'est pas conforme à l'image des actions mécaniques exprimées au centre de la liaison. Nous avons besoin d'un dispositif permettant de reconstruire des liaisons matérielles à côté du mécanisme et en relation avec ce dernier.

Un passage difficile de la liaison parfaite à la liaison réelle

Les études de mécanismes sont souvent réalisées avec des liaisons parfaites (ni jeu, ni frottement). Dans l'exemple du niveau laser (figure 3), la mise en évidence des facteurs influant sur le rotulage de la liaison pivot est difficile par simulation à partir du modèle 3D. À partir du système réel, par démontage, on sépare les pièces (et donc les liaisons), et on ne peut pas

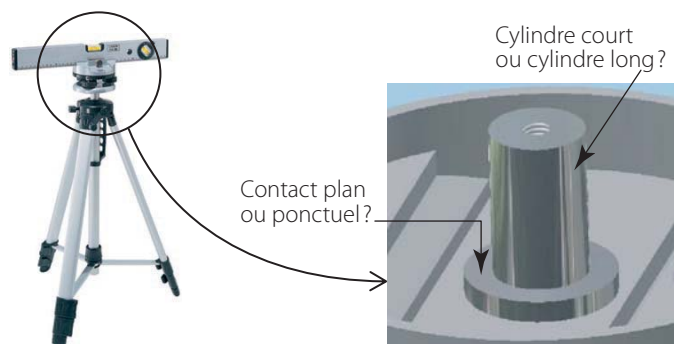


▲ Figure 2. Quelle est la réalité physique de la variation d'un effort?

Position 1 : Le logiciel de calcul affiche les valeurs des composantes X_A et Y_A

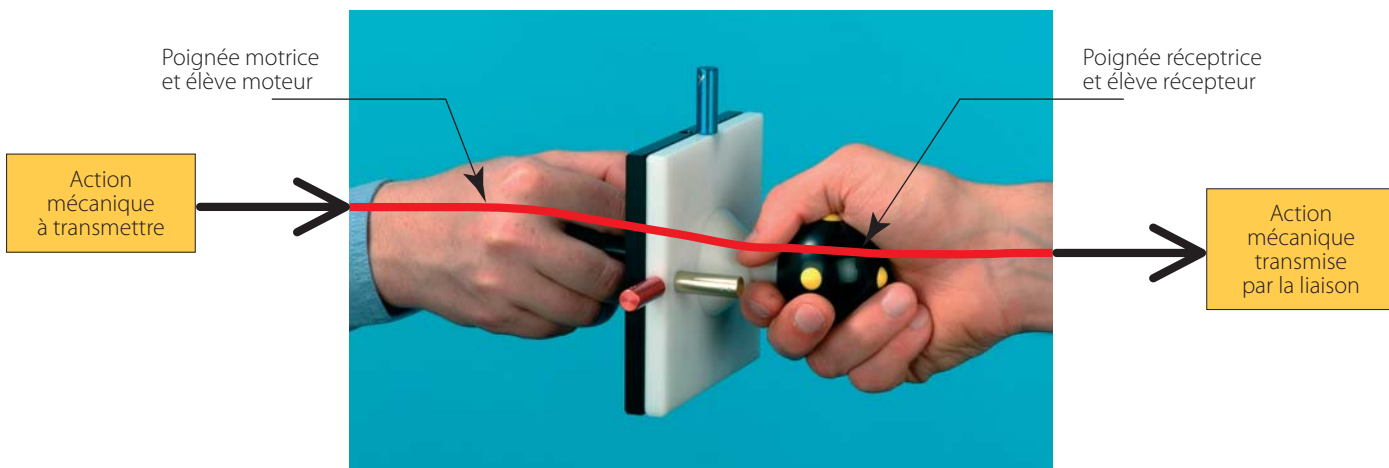
Position 2 : Le logiciel de calcul affiche une valeur nulle pour la composante X_A et non nulle pour Y_A

isoler une par une les surfaces élémentaires car la liaison est construite par une association de surfaces : un cylindre long et un épaulement étroit, un cylindre court et un plan... La modélisation d'un épaulement étroit par une liaison ponctuelle est difficile à admettre pour les élèves.

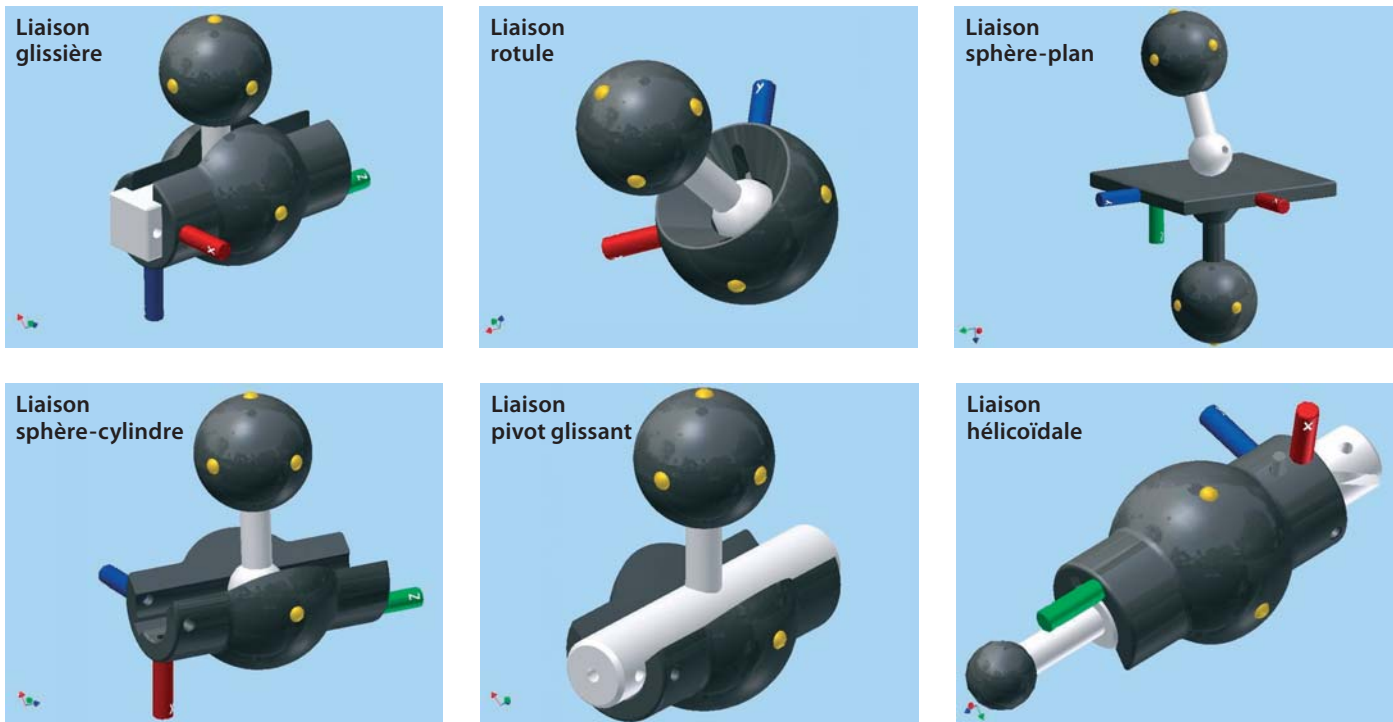


▲ Figure 3. La liaison pivot du niveau laser

L'étude de la stabilité d'un appui plan, du risque de basculement d'une pièce reste théorique, ou elle est faite par des approches instrumentées longues à mettre en œuvre ; l'influence du frottement sur les guidages, l'apparition d'une force tangentielle et le risque d'arc-boutement sont souvent étudiés avec des dispositifs complexes. Il manquait des moyens simples pour mettre en évidence les phénomènes de comportement d'une liaison (rigidité, basculement, arc-boutement...).



▲ Figure 4. Un exemple de la liaison appui-plan



▲ Figure 5. Quelques exemples de réalisation des liaisons sensorielles

L'INVENTION DES MAQUETTES SENSORIELLES

En observant nos élèves, nous avons remarqué que certains faisaient un geste avec leurs mains pour accompagner un apprentissage : une rotation de la main droite par rapport à la main gauche autour d'une direction pour accompagner le mouvement d'une pièce en liaison pivot par rapport à une autre, une translation de la main droite pour anticiper le sens de déplacement d'une table de machine-outil, etc. Nous avons alors fait l'hypothèse que la difficulté de conceptualisation des élèves venait du fait que nous ne faisons pas suffisamment le lien entre les concepts et les perceptions du corps, entre le modèle théorique des liaisons, des actions mécaniques et les perceptions visuelles et tactiles. Nous avons donc créé un outil permettant de pallier cette lacune de façon simple. Nos représentations du monde extérieur ne se sont-elles pas toutes construites à partir de nos perceptions ?

Le principe de base

Les maquettes didactiques sensorielles – qui ont une forme proche du symbole ISO – symbolisent matériellement les liaisons cinématiques. Pour les manœuvrer et percevoir les actions mécaniques, elles sont équipées de poignées permettant la saisie (figure 4). Chaque poignée est liée directement à chacune des parties constituant la liaison (dispositif breveté). Composé d'une entrée (l'élève moteur) et d'une sortie (l'élève récepteur), ce système permet de percevoir physiquement la transmission des actions mécaniques par la liaison, de sentir le diagramme de flux des efforts.

Les onze liaisons cinématiques usuelles peuvent être construites selon ce principe, en associant dix pièces différentes (figure 5). La maquette est placée dans la position correspondant à celle de la liaison dans le mécanisme étudié. À partir de cet instant, l'élève moteur peut provoquer des déplacements, exercer des actions mécaniques, et l'élève récepteur voir les déplacements relatifs par rapport à la pièce qu'il tient, ou recueillir les perceptions tactiles de l'action mécanique transmise par la liaison. Il y a une relation organisée – guidée par l'enseignant – entre l'action de la main et la vue. Les maquettes aident à prévoir et

à expliquer le comportement du système réel ; elles constituent l'étape intermédiaire vers la construction d'une représentation mentale, d'un modèle (figure 6).

La forme des poignées et la disposition des picots

La poignée est sphérique pour percevoir une poussée selon une direction, ou un entraînement rotatif autour d'un axe.

Les picots, disposés orthogonalement sur la poignée, permettent d'avoir un contact tactile de l'espace à trois dimensions. Si l'élève récepteur perçoit la poussée d'un picot sur la paume de la main, c'est qu'il y a une force transmise dans cette direction ; s'il perçoit un entraînement rotatif autour de deux picots alignés qui restent fixes dans sa main, c'est qu'il y a un moment transmissible autour de cet axe.

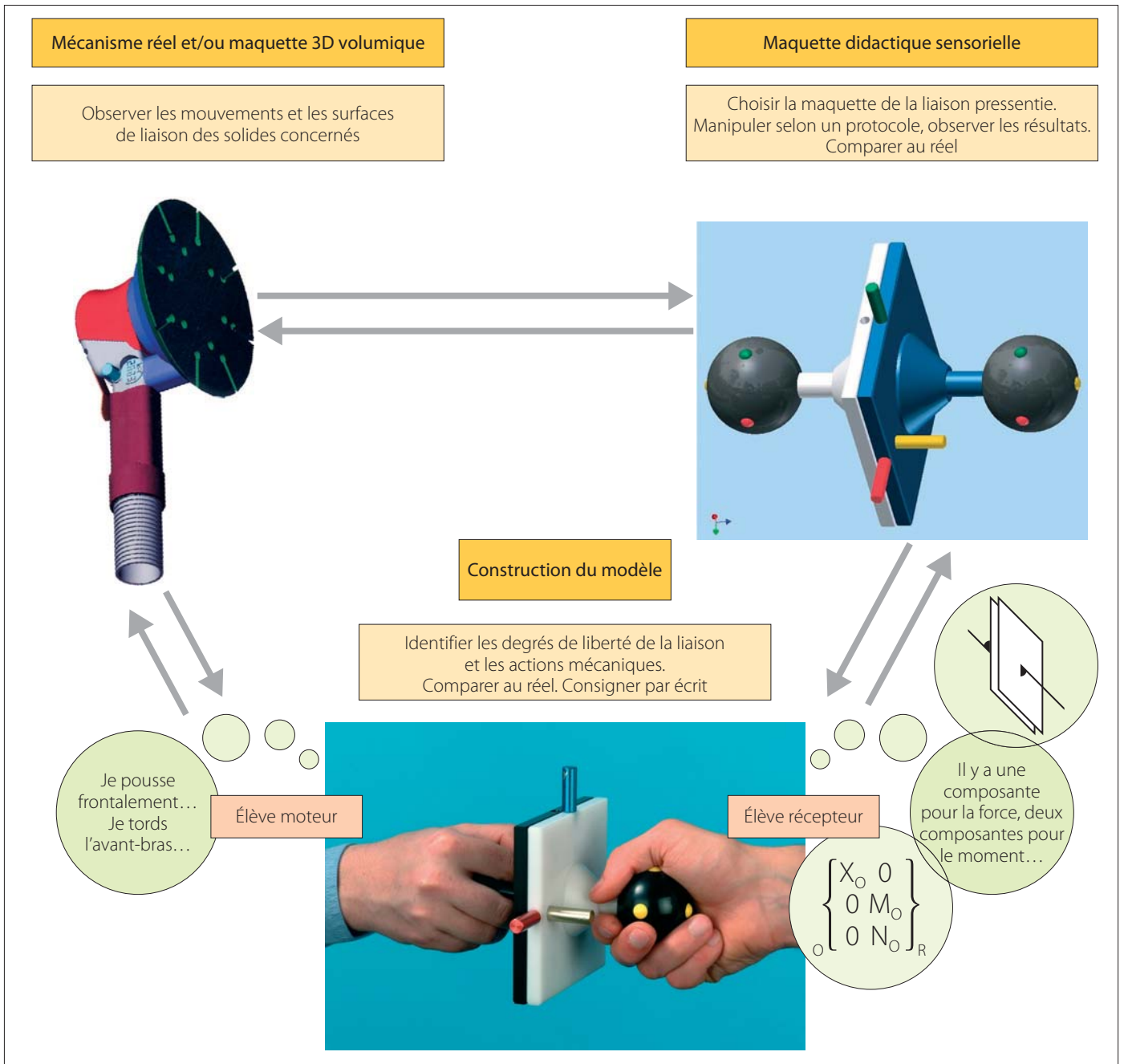
Pour compléter la matérialisation des trois directions de l'espace, une base locale orthonormée, composée de trois axes indépendants \vec{x} , \vec{y} , \vec{z} peut-être liée de façon amovible au solide de référence, tenu par l'élève récepteur.

Le principe de la manipulation

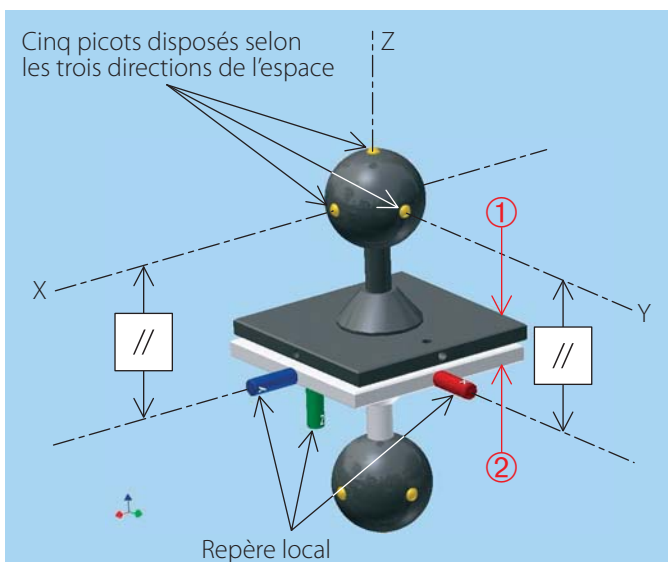
Les degrés de liberté entre les deux pièces sont observés par rapport au solide de référence – celui, tenu par l'élève récepteur, sur lequel est placé le repère local (figures 7 et 8).

- **Les degrés de liberté de la liaison appui-plan** (figure 7) : L'élève moteur va chercher à déplacer ① par rapport à ② – tenu par l'élève récepteur –, sans rompre le contact entre les pièces. Les trois degrés de liberté de ① par rapport à ②, T_x , T_y et R_z , sont observés dans le repère local $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié au solide ②. Les mouvements de ② par rapport au sol ne sont pas pris en considération. On observe bien les mouvements relatifs du couple de pièces ① et ②.

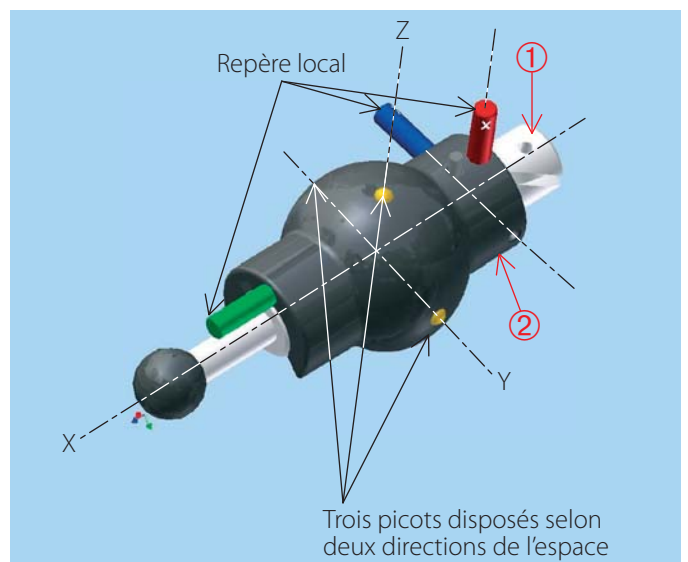
- **Les degrés de liberté de la liaison pivot glissant** (figure 8) : L'élève moteur va chercher à déplacer ① par rapport à ② – tenu par l'élève récepteur. Les deux degrés de liberté de ① par rapport à ②, T_x et R_x , sont observés dans le repère local lié au solide ②.



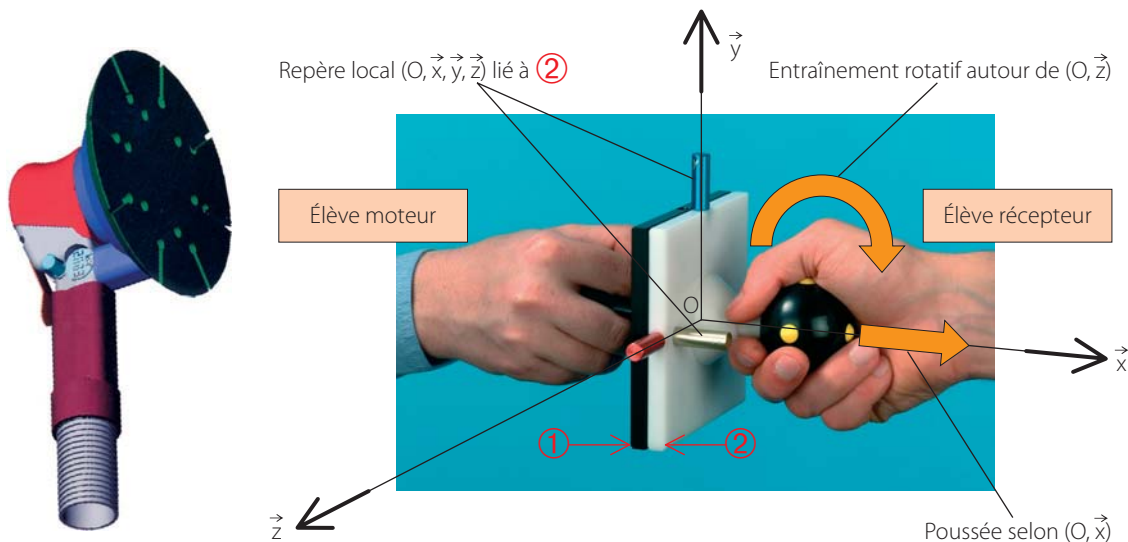
▲ Figure 6. Le schéma de l'approche didactique



▲ Figure 7. Les degrés de liberté de la liaison appui-plan



▲ Figure 8. Les degrés de liberté de la liaison pivot glissant



▲ Figure 9. Les actions transmissibles entre le disque et le carter de la ponceuse

Les actions mécaniques transmissibles sont également perçues et interprétées dans le repère local (figure 9). Si nous recherchons à modéliser les actions transmissibles par la liaison appui-plan entre le disque et le carter de la ponceuse, la manipulation apportera des renseignements préalables précieux (le principe en est résumé dans les tableaux 1 et 2).

D'après ces perceptions tactiles, dans le repère local R: $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, on peut écrire les composantes de la résultante et du moment transmissible par cette liaison sans frottement :

$$\vec{O}_{1/2} : \begin{pmatrix} X_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}_R \quad \vec{M}_{0(1/2)} : \begin{pmatrix} 0 \\ M_0 \\ N_0 \end{pmatrix}_R$$

$$\text{D'où le torseur : } \{O_{1/2}\} = \begin{Bmatrix} X_0 & 0 \\ 0 & M_0 \\ 0 & N_0 \end{Bmatrix}_R$$

On peut aussi représenter le « vecteur résultante » et le « vecteur moment » (approche géométrique) ; l'outil mathématique suit l'action et non l'inverse.

Ainsi, il n'est plus utile de passer par l'observation des degrés de liberté pour en déduire les actions mécaniques par complémentarité des deux variables (si le mouvement relatif existe,

alors il n'y a pas d'action mécanique transmissible). Tout simplement, il est possible de dire : « Si je sens une poussée dans ma main, alors il y a une force ; si je sens un entraînement rotatif de la poignée dans ma main, alors il y a un moment. » S'il y a une force, elle provoque un déplacement de la maquette par rapport au sol dans une direction ; s'il y a un moment, il provoque une rotation de la maquette autour d'un axe matérialisé par les deux picots qui restent fixes dans la main (figure 10).

Il est à noter que ces manipulations peuvent se faire dès la seconde ISI, ou en BEP, en se limitant à l'identification des degrés de liberté entre les deux parties ① et ② (translations et rotations).

La disposition des poignées et l'exactitude de la perception

Le centre de la poignée – centre sensoriel – est placé en un point précis pour avoir une perception tactile fidèle à ce qui se passe au centre de la liaison. En effet, si la résultante des actions mécaniques est la même en tout point de l'espace, il n'en est pas de même pour le moment transmissible. Il est donc important que la main soit :

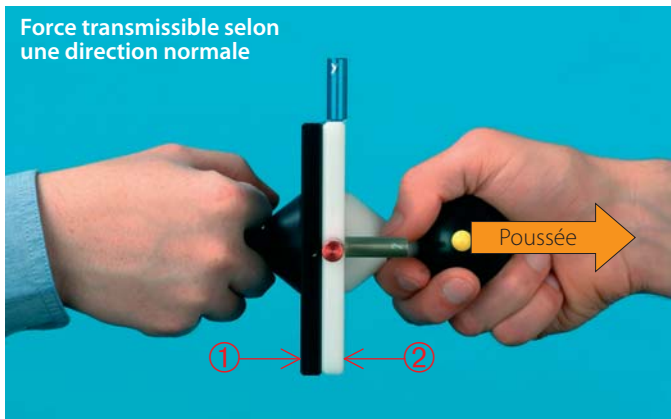
– au centre des liaisons qui présentent des surfaces de révolution (figure 11) ;

Tableau 1. La caractérisation de la résultante transmissible par l'appui-plan

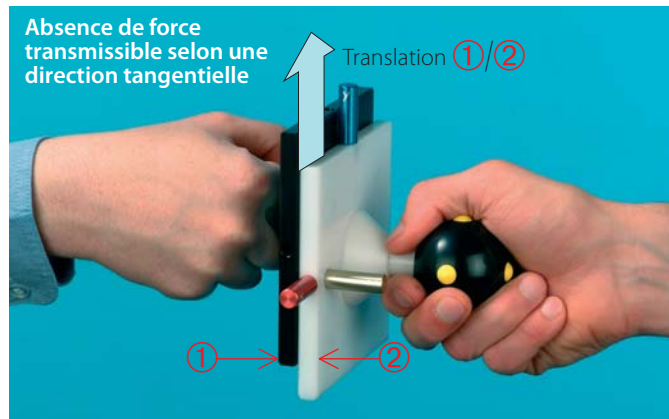
Action L'élève moteur cherche à :	Résultat L'élève récepteur perçoit (ou ne perçoit pas) :	Conclusion Représentation mentale de la force
1. Faire reculer l'élève récepteur selon (O, \vec{x})	Une poussée selon cette direction,	La liaison transmet une force selon (O, \vec{x})
2. Soulever l'élève récepteur selon (O, \vec{y})	Une absence de poussée selon (O, \vec{y})	La liaison ne transmet pas de force selon (O, \vec{y})
3. Déplacer latéralement l'élève récepteur selon (O, \vec{z})	Une absence de poussée selon (O, \vec{z})	La liaison ne transmet pas de force selon (O, \vec{z})

Tableau 2. La caractérisation du moment transmissible par l'appui-plan

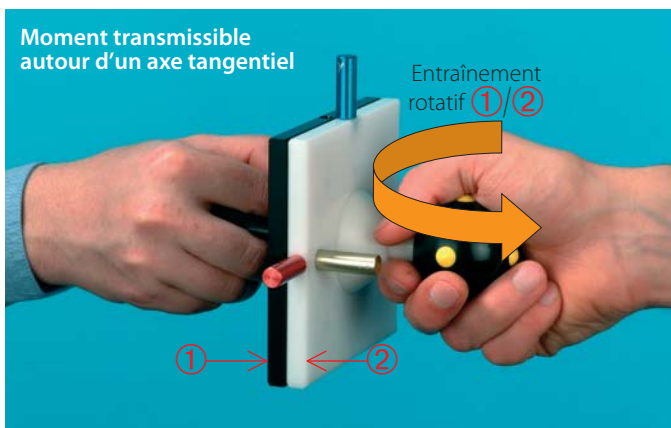
Action L'élève moteur cherche à :	Résultat L'élève récepteur perçoit (ou ne perçoit pas) :	Conclusion Représentation mentale de la force
1. Tordre le poignet de l'élève récepteur autour de (O, \vec{x})	Une absence de torsion du poignet autour de (O, \vec{x})	La liaison ne transmet pas de moment autour de (O, \vec{x})
2. Tordre le poignet de l'élève récepteur autour de (O, \vec{y})	Une torsion du poignet autour de (O, \vec{y})	La liaison transmet un moment autour de (O, \vec{y})
3. Tordre le poignet de l'élève récepteur autour de (O, \vec{z})	Une torsion du poignet autour de (O, \vec{z})	La liaison transmet un moment autour de (O, \vec{z})



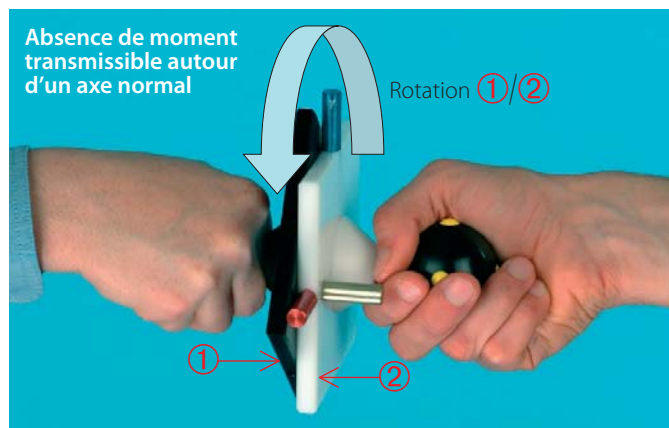
Recul de la maquette par rapport au sol.
La partie ① reste fixe par rapport à la partie ②.



La partie ② reste fixe par rapport au sol.
① se déplace en translation par rapport à ②.



Entraînement en rotation de la maquette par rapport au sol.
① reste fixe par rapport à la partie ②.



Pas d'entraînement en rotation de la maquette par rapport au sol.
① tourne par rapport à la partie ②.

▲ **Figure 10. La décomposition des manipulations**

– sur le support de la résultante, c'est-à-dire sur la normale au plan de contact, pour la poignée plan (figure 12).

De même, il est nécessaire de tenir la poignée-sphère ou la poignée-cylindre au centre et perpendiculairement au plan, pour ne pas avoir de moment parasite.

Si A est le centre de la liaison de ① par rapport à ② et B le centre de la poignée de saisie de la main M sur ②, nous avons les deux relations suivantes :

- Pour la poignée alésage cylindrique :

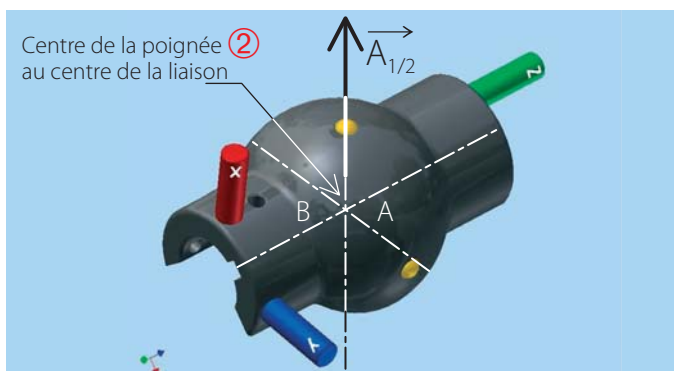
$$\vec{M}_B = \vec{M}_A + \vec{BA} \wedge \vec{A}$$

$\vec{BA} \wedge \vec{A} = \vec{0}$, car $\vec{BA} = \vec{0}$ (centres A et B confondus), d'où :

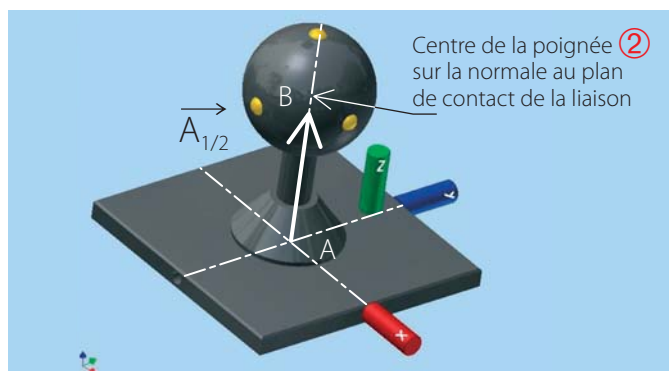
$$\vec{M}_B = \vec{M}_A$$

- Pour la poignée plan :

$$\vec{M}_B = \vec{M}_A + \vec{BA} \wedge \vec{A}$$



▲ **Figure 11. Le centre de la poignée alésage cylindrique**



▲ **Figure 12. Le centre de la poignée plan**

$\vec{BA} \wedge \vec{A} = \vec{0}$, car les deux vecteurs sont colinéaires (B sur la normale à la surface de contact), d'où :

$$\vec{M}_B = \vec{M}_A$$

EN CONCLUSION

Dans nos classes, grâce à cette approche de la construction et de la mécanique – qui ne nécessite pas de protocoles complexes, longs à mettre en œuvre –, beaucoup d'élèves en difficulté ont retrouvé le goût d'apprendre. Les perceptions tactiles donnent un contenu concret aux phénomènes observés, et les élèves qui savent calculer interprètent mieux les résultats au niveau physique. Le modèle mathématique n'est pas un préalable à la modélisation, il joue plutôt un rôle d'accompagnement et de structuration de la représentation mentale à partir des perceptions. Pour nous, c'est un encouragement à poursuivre dans cette voie. ■

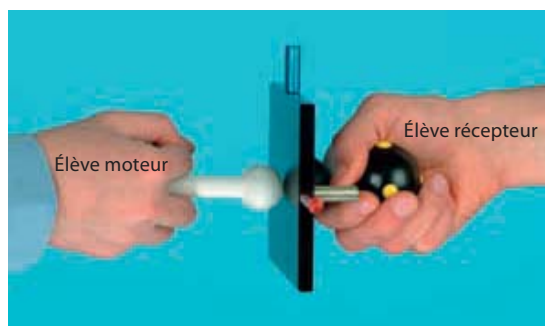
LIAISONS MÉCANIQUES :

Les maquettes didactiques sensorielles (seconde partie)

YVES BRACCINI, ROBERT GOURHANT^[1]

Dans la première partie de cet article, les auteurs ont présenté les utilisations générales des maquettes didactiques sensorielles et leur intérêt pour la modélisation des liaisons et des actions mécaniques.

Dans cette seconde partie, ils abordent quatre difficultés particulières d'apprentissage et montrent comment les maquettes sensorielles aident les élèves à les résoudre.



1 La liaison sensorielle sphère-plan

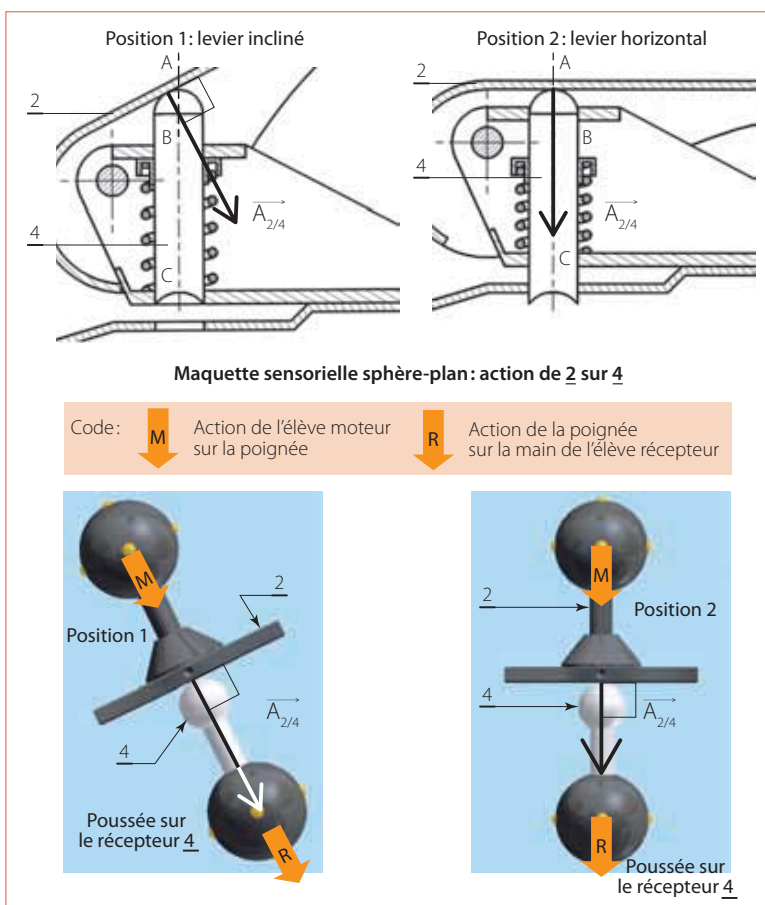
Quatre obstacles aux apprentissages et comment y répondre

Donner un sens physique aux actions mécaniques

La première constatation que nous avons formulée est la suivante : les difficultés de conceptualisation des élèves proviennent d'un lien insuffisant avec la réalité physique des phénomènes et avec les perceptions de leur corps.

La manipulation d'une maquette sensorielle correspondant à une liaison d'un mécanisme va permettre – à partir des informations articulaires, tactiles et visuelles – d'avoir réellement accès à l'orientation et au comportement d'une liaison (direction de la normale à un plan de contact, de l'axe d'un cylindre, degrés de liberté, actions mécaniques transmissibles...) **1**.

Les perceptions apportées par cette manipulation sont une aide à la construction d'une représentation mentale du comportement, dans différentes positions, du mécanisme (dans l'exemple de la figure **2**, une perforatrice). La modélisation est en relation avec le mécanisme étudié, dans un contexte donné.



Maquette sensorielle sphère-plan : action de 2 sur 4

Code : **M** Action de l'élève moteur sur la poignée **R** Action de la poignée sur la main de l'élève récepteur

2 La perforatrice : quelle est la force transmise en A ?

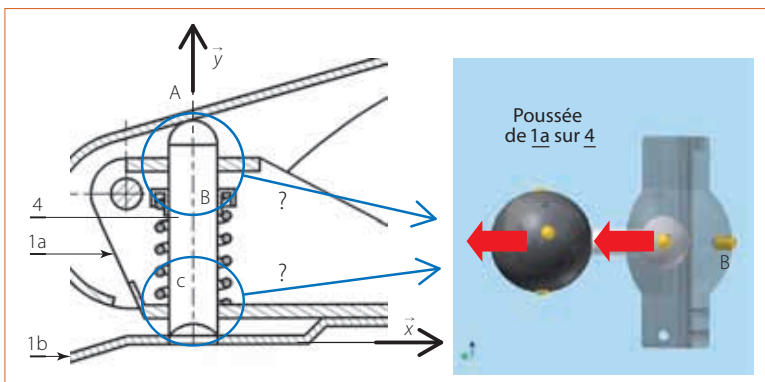
mots-clés

équipement didactique
liaison
mécanique
modélisation
prébac

Après cette manipulation, l'élève constate de façon tactile, quelle que soit l'inclinaison du plan, pour un contact sans frottement, la force est toujours perpendiculaire au plan de contact avec la sphère. Il est mieux préparé à écrire les composantes d'une force transmise par une liaison dans un repère, ou à interpréter les résultats d'un logiciel de calcul.

À partir de ces constatations, il comprendra plus aisément que, dans notre exemple, si la tige perforatrice est guidée en B et C, c'est qu'il est nécessaire de supporter la composante horizontale de la force.

^[1] Respectivement : professeur de construction mécanique au LP Prieur-de-la-Côte-d'Or d'Auxonne (21) ; professeur de génie mécanique au lycée Gaston-Bachelard de Chelles (77) et formateur associé à l'IUFM de Créteil.



3 La liaison sphère-cylindre 4-1a

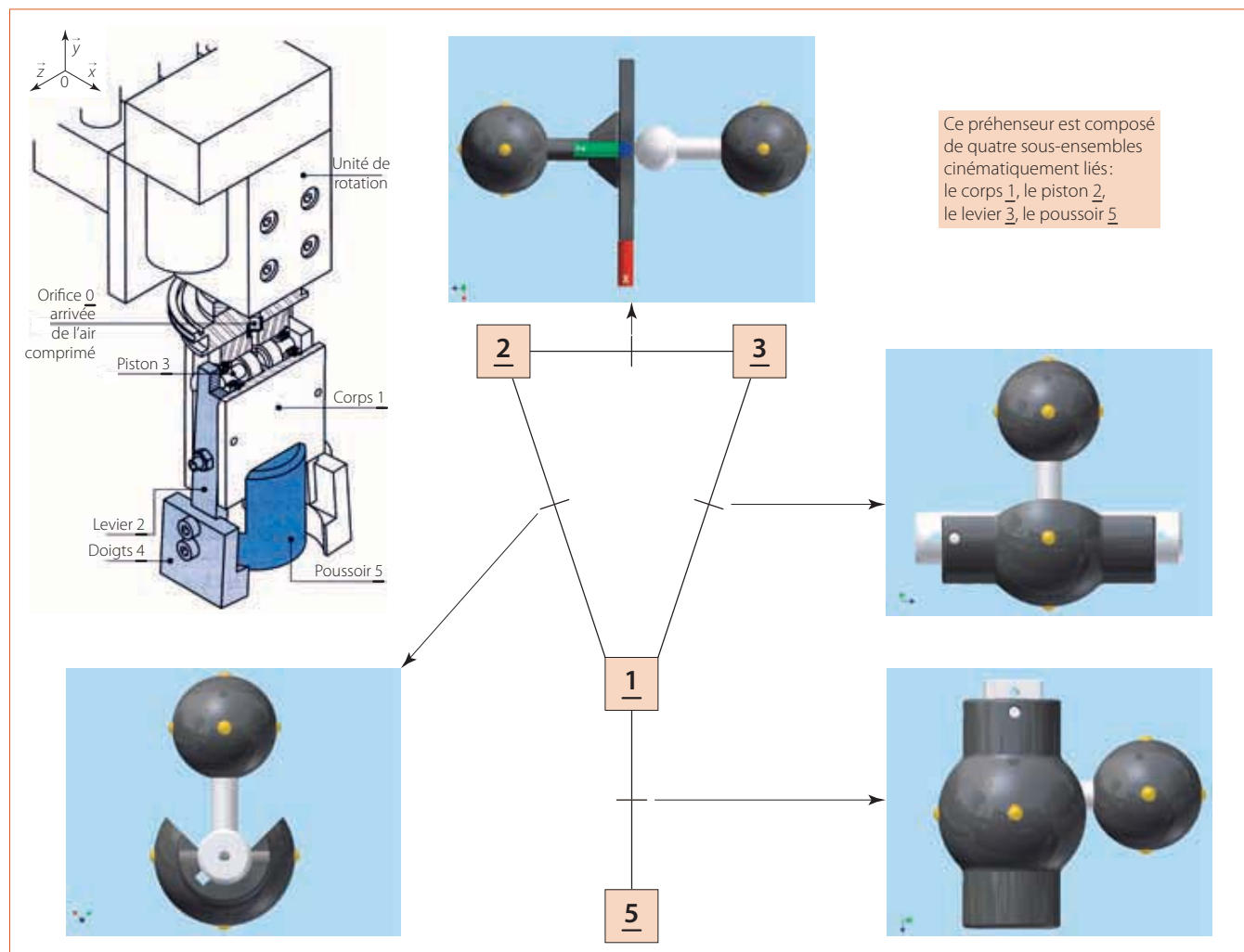
L'isolement de 4 va amener l'élève à manipuler les liaisons concernées, les unes après les autres, et à fonder la modélisation des actions mécaniques sur des bases concrètes **3**.

En même temps, les liaisons manipulées ne sont pas la photographie des liaisons étudiées, elles ont un caractère plus général, proche du symbole Iso, et les caractéristiques des actions mécaniques transmissibles sont donc transférables sur un autre mécanisme. Cela prépare la décontextualisation, sans laquelle il n'y a pas de réel apprentissage.

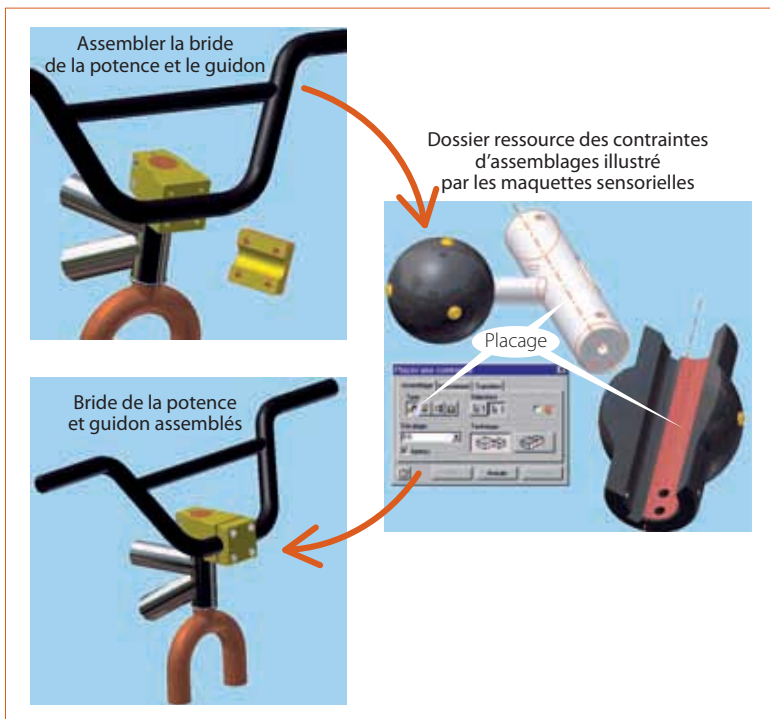
Se concentrer sur les interfaces entre les sous-ensembles cinématiques

D'autre part, la possibilité de manipuler les liaisons isolées va focaliser l'attention de l'élève sur le couple de pièces en présence et l'aider à mieux comprendre ce qui se passe à ce niveau. Cette démarche concentre l'attention sur les interfaces entre les sous-ensembles cinématiquement liés **4**.

Le graphe des liaisons peut être illustré par les maquettes associées, correctement orientées.



4 Le graphe du préhenseur d'assemblage des taille-crayon



5 La dualité partie opérative, partie commande

Donner une dimension physique et matérielle à un assemblage virtuel

Lors des assemblages de sous-ensembles par modèleur 3D, beaucoup d'approches restent très abstraites et non fonctionnelles. Derrière les contraintes d'assemblage d'un logiciel, la réalité physique d'une coïncidence de surfaces pour réaliser la mise en position de deux pièces en liaison n'est pas évidente, et les appellations varient d'un logiciel à l'autre. Pourtant la réalité physique est la même : « coaxialité » pour les uns est synonyme de « placage » pour les autres...

D'où l'idée de réaliser un dossier ressource illustré par les maquettes sensorielles 5. Face à un problème à résoudre, l'élève peut accompagner la lecture du dossier ressource de manipulations réelles réalisant l'assemblage ou la séparation des pièces des maquettes correspondantes. Il peut aussi identifier les surfaces réelles de contact qui assurent la fonction – ce qui donne de la profondeur –, en préalable à la manipulation informatique. En toute autonomie : certains élèves éprouvent le besoin de manipuler en touchant, pour d'autres la visualisation à l'écran et sur le dossier ressource suffit.

Passer de la liaison parfaite à la liaison réelle

Une modification de la nature des contacts sur les maquettes, combinée avec l'introduction de charges par l'intermédiaire des poignées, va provoquer des modifications de comportements observables directement. Cette approche permet l'étude des liaisons réelles (avec jeux ou frottement)

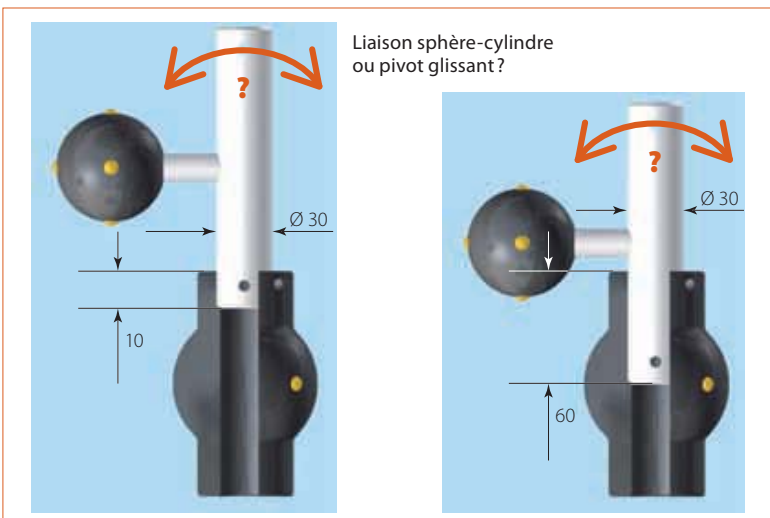
Les liaisons avec jeu

Pour les liaisons avec jeu, les différentes surfaces participant à la construction de la liaison peuvent être isolées, et la nature des contacts modifiée.

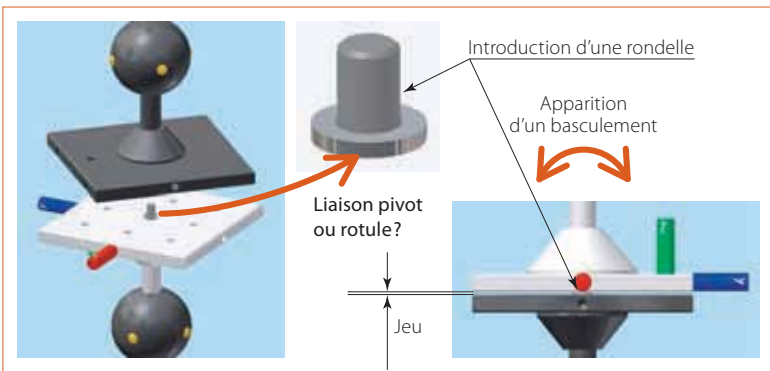
Ainsi, après réduction de la longueur de guidage d'un cylindre ou de l'étendue d'un plan, il devient possible d'observer le rotulage – lié au jeu – en introduisant des efforts au moyen des poignées 6 7. Deux phases de comportement sont alors mises en évidence, et l'on constate de visu le débattement angulaire (aspect précision du guidage) :

- Dans la phase de rotulage, la liaison ne transmet aucun moment ;
- Lorsque le rotulage n'a plus lieu (jeux rattrapés), la liaison transmet un moment que l'on peut percevoir grâce à la poignée réceptrice (aspect transmission des actions mécaniques).

Sur l'exemple de la figure 6, on constate que la réduction de la longueur de guidage transforme la liaison pivot glissant en liaison sphère-cylindre pour un angle de rotulage limité. Sur l'exemple de la figure 7, la réduction de l'étendue du plan transforme la liaison pivot à appui plan prépondérant en liaison rotule, pour un angle de rotulage limité.



6 Cylindre court ou cylindre long ?



7 Contact plan ou contact ponctuel ?

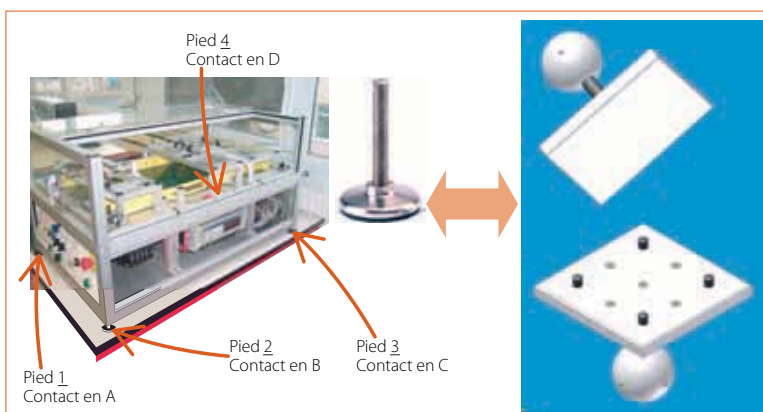
On peut également, au moyen de pions engagés dans les trous de la poignée plan, créer une liaison hypers-tatique et observer les incompatibilités de contact et les défauts de positionnement associés. Il sera simple d'expliquer alors pourquoi il faut introduire un réglage sur l'un des contacts pour que tous soient compatibles. Par exemple, la liaison d'un palettiseur avec sa table support est réalisée par quatre pieds **8**. Au moyen de la maquette, on peut mettre en évidence l'effet de l'hyperstatisme de cette liaison appui-plan en introduisant des différences de longueur entre les différents pions.

Les liaisons avec frottement

Pour l'étude des liaisons réelles avec frottement, on introduira sur la poignée plan une plaque munie d'un élastomère permettant d'augmenter le facteur de frottement. Par exemple, pendant l'étude d'un serre-joint à gâchette **9**, on pourra constater de façon tactile, au moyen d'une poignée latérale, l'apparition d'une composante tangentielle pour la force de contact, et mettre en évidence l'adhérence. À la limite du glissement, l'inclinaison de la poignée sphère permet de visualiser le cône de frottement.

Une utilisation dans différentes situations d'apprentissage

Permettant une démarche inductive en binôme et une résolution des difficultés particulières de certains élèves, les maquettes didactiques sensorielles sont utilisables en TP ou en TD. Mais elles peuvent également être manipulées au tableau devant la classe entière, grâce à leurs dimensions et à leur maniabilité, notamment lors de l'introduction de notions nouvelles ou de la synthèse d'un cycle de TP. Et leur rangement dans une mallette permet leur transport facile d'une salle de travaux pratiques à une salle « banalisée ».



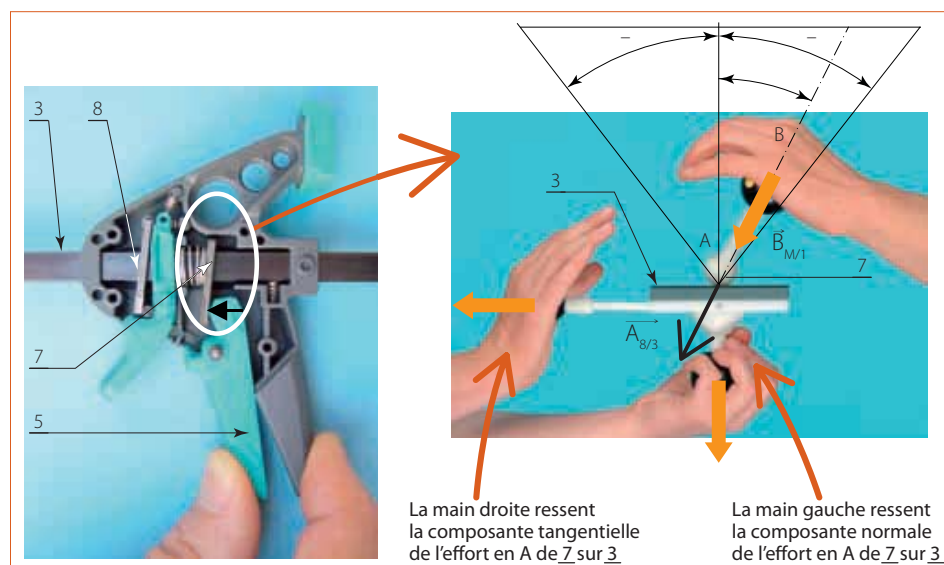
8 Liaison du palettiseur avec la table support

Un apprentissage immédiat et bien ancré

Les premières applications, avec des classes de niveaux différents (BEP, seconde ISI, premières STI, BTS...), ont donné des résultats positifs sur plusieurs aspects, comparées aux pratiques habituelles :

- Certains élèves découvrent l'espace et la réalité des actions mécaniques à partir du moment où on leur demande de faire un geste sur la maquette selon une direction – par exemple, la rotation autour de (O, x) , c'est tourner le poignet autour de l'axe de l'avant-bras.
- Ils identifient le symbole de la liaison en perspective lorsqu'ils voient la maquette réelle disposée de la même façon dans l'espace.
- Ils résolvent des problèmes de vocabulaire en observant la forme des maquettes (« Si j'ai bien compris, une normale, c'est une tige perpendiculaire à cette surface ! »).
- Ils décodent un plan d'ensemble ou un schéma cinématique en disposant et en manipulant les maquettes selon une même orientation.
- Ils retrouvent la troisième dimension à partir d'une information articulaire et d'un ordre de déplacement (mouvement du poignet, du bras...).
- Ils entrent en relation avec la réalité physique d'une grandeur en percevant ses effets dans leurs mains.

Ces observations rejoignent celles des chercheurs en sciences de l'éducation, qui ont prouvé que la plupart des élèves de l'enseignement technique et professionnel avaient une approche à dominante kinesthésique dans leur perception de la réalité.



La main droite ressent la composante tangentielle de l'effort en A de 7 sur 3

La main gauche ressent la composante normale de l'effort en A de 7 sur 3

9 Le serre-joint à gâchette : étude de l'adhérence plaquelette 7 - règle 3

C'est un outil – complémentaire aux modèles 3D volumiques et aux simulations numériques – au service de la modélisation des liaisons et de l'étude du comportement des mécanismes. Il constitue une interface entre le réel et le modèle théorique. Renforçant l'approche kinesthésique de l'enseignement de la construction et de la mécanique, il aide les élèves grâce à des observations plus concrètes des phénomènes. Et le plaisir que les élèves éprouvent lorsqu'ils arrivent, grâce aux maquettes, à résoudre un problème est, pour nous, un encouragement à poursuivre dans cette voie. ■