

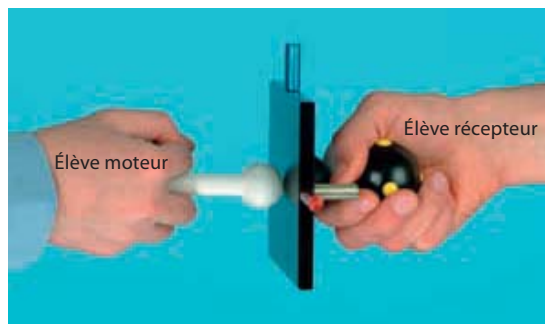
LIAISONS MÉCANIQUES :

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

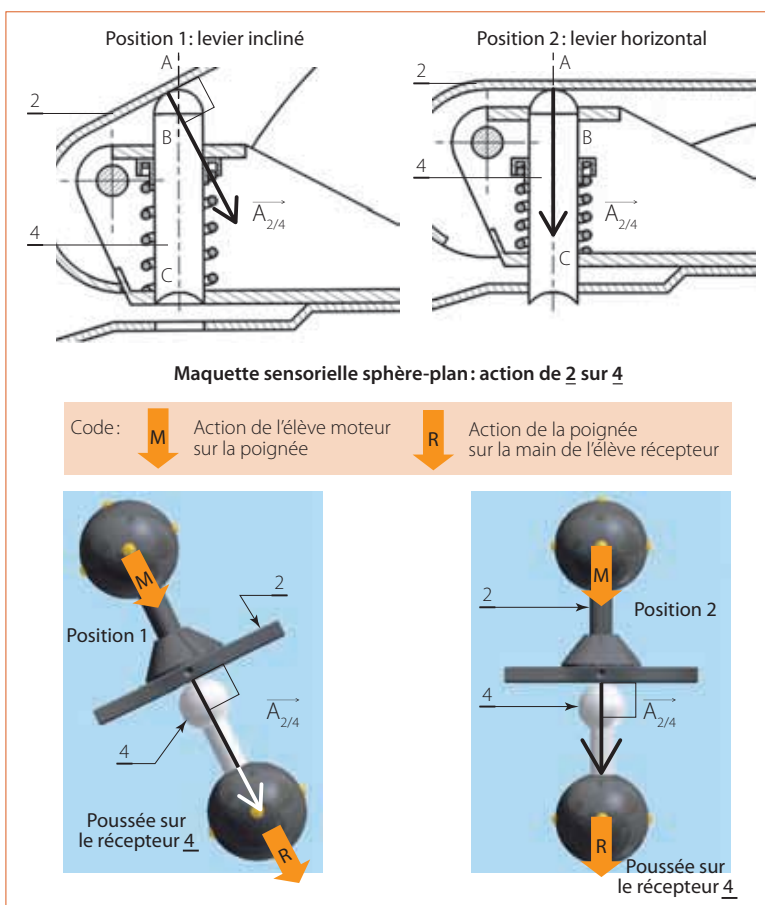
Quatre obstacles aux apprentissages et comment y répondre

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 ?

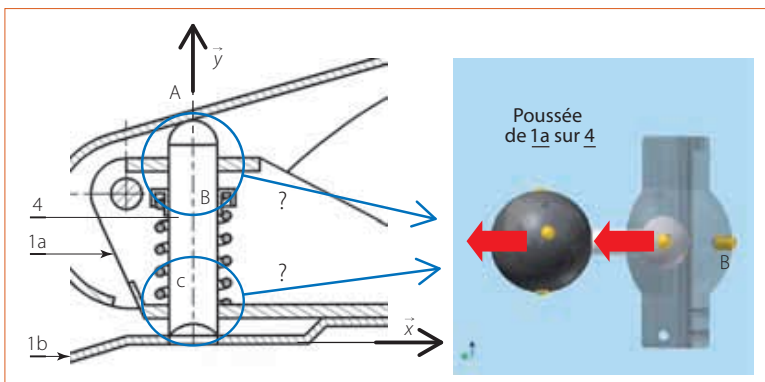
mots-clés

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

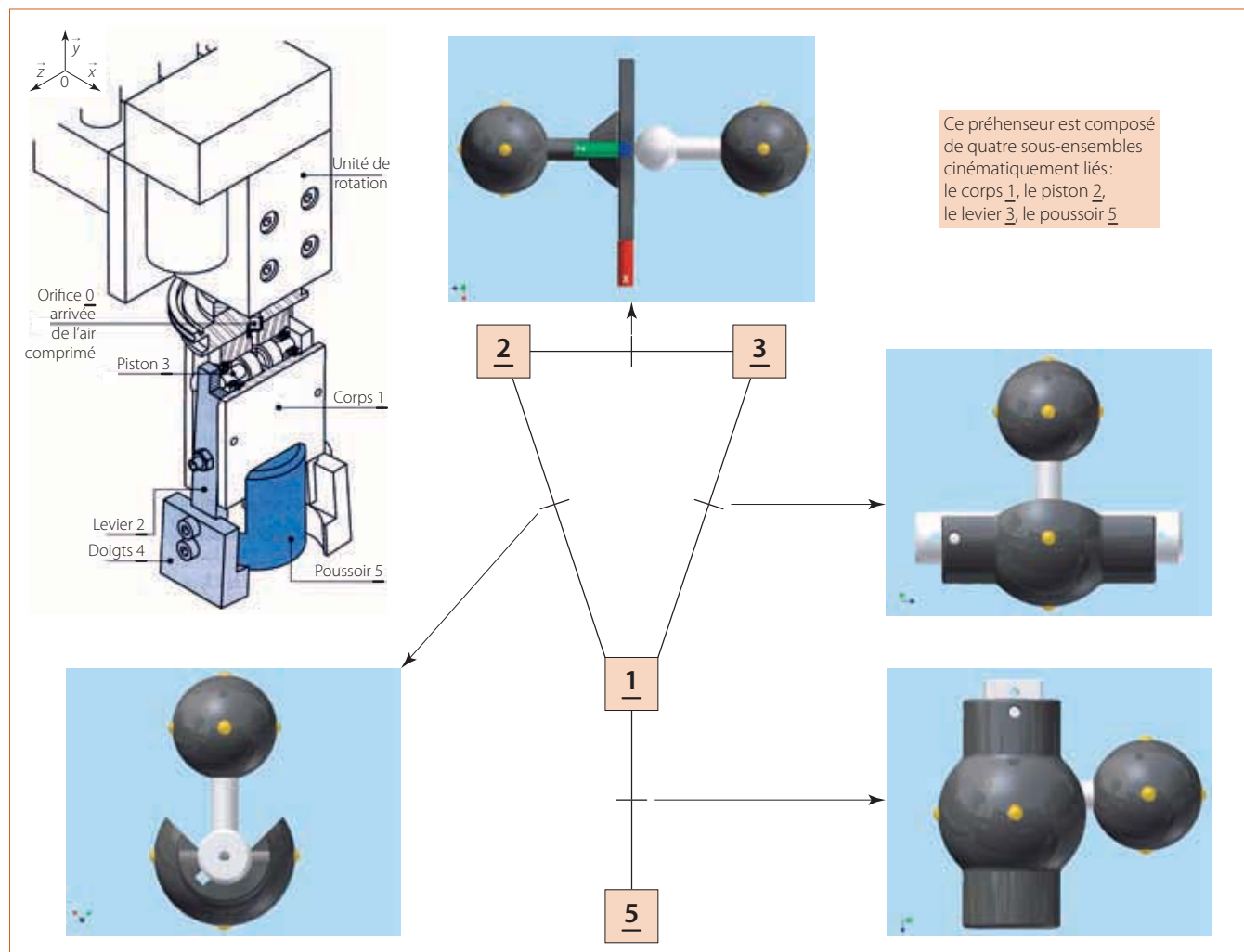
L'isolement de 4 va amener l'élève à manipuler les liaisons concernées, les unes après les autres, et à fonder la modélisation des actions mécaniques sur des bases concrètes **3**.

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.

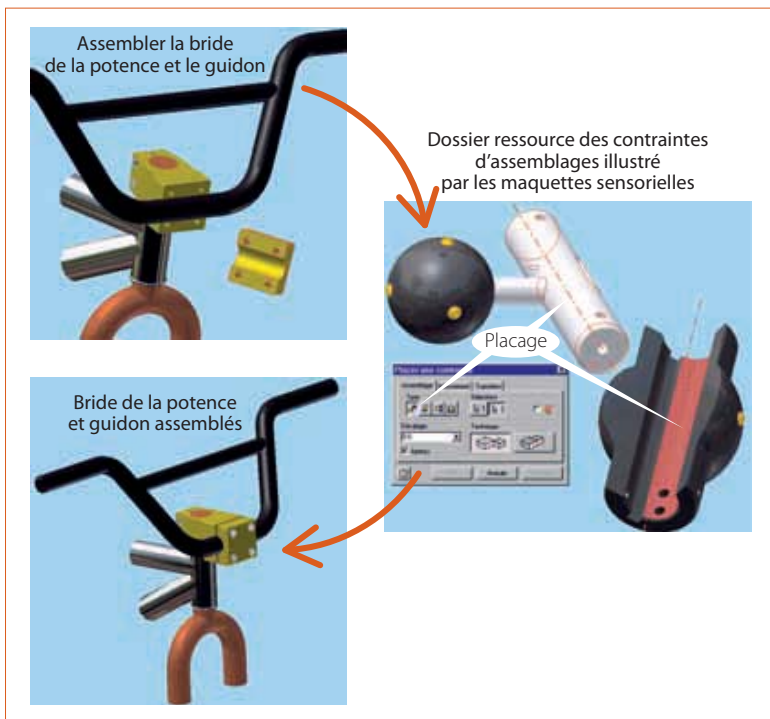
Se concentrer sur les interfaces entre les sous-ensembles cinématiques

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)

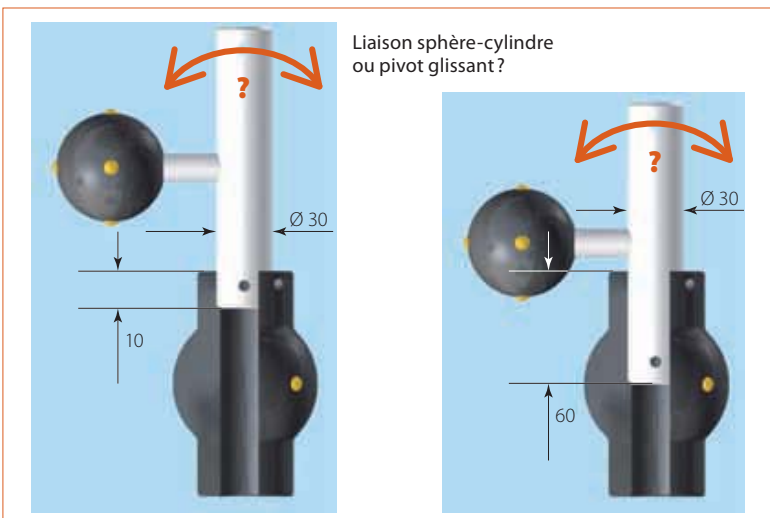
Les liaisons avec jeu

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

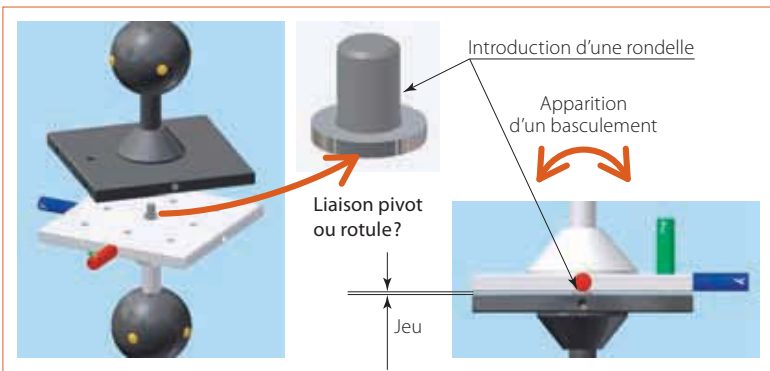
Ainsi, après réduction de la longueur de guidage d'un cylindre ou de l'étendue d'un plan, il devient possible d'observer le rotulage – lié au jeu – en introduisant des efforts au moyen des poignées **6 7**. Deux phases de comportement sont alors mises en évidence, et l'on constate de visu le débattement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

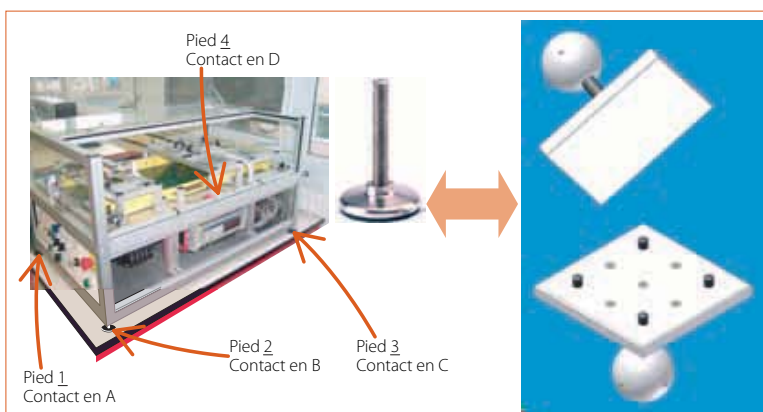
On peut également, au moyen de pions engagés dans les trous de la poignée plan, créer une liaison hypers-tatique et observer les incompatibilités de contact et les défauts de positionnement associés. Il sera simple d'expliquer alors pourquoi il faut introduire un réglage sur l'un des contacts pour que 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 ».



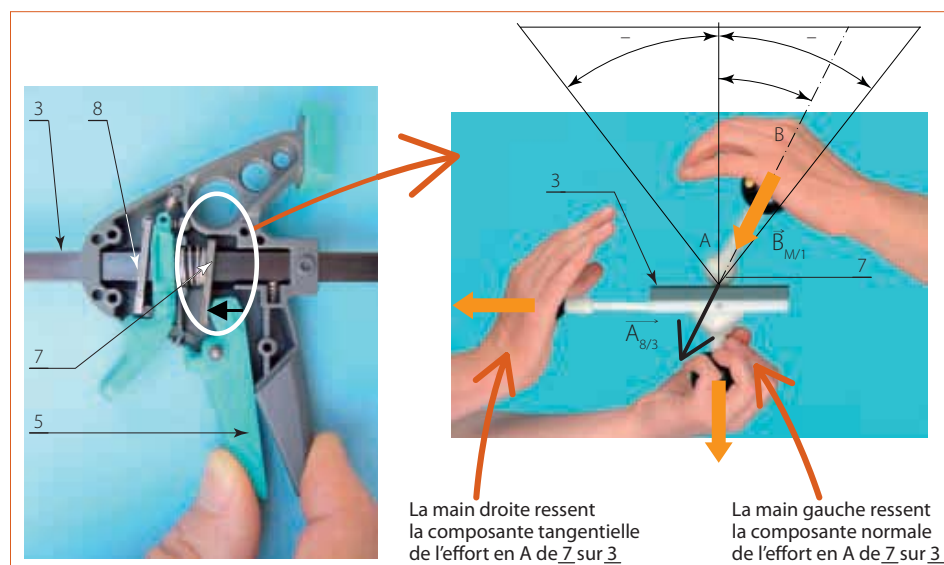
8 Liaison du palettiseur avec la table support

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. ■