

Un enseignement de la mécanique au L.E.P.

par Daniel SCACHE,
E.N.N.A. de Villeneuve-d'Ascq

et Joseph PATOUILLARD,
L.E.P. d'Application de Villeneuve-d'Ascq.

A) INTRODUCTION.

L'approche de la mécanique au L.E.P. est un problème délicat en dépit de l'aptitude manifestée par les élèves de cet âge pour cette discipline.

Outre la situation de recherche dans laquelle il place l'élève, l'apport, dans la classe, d'un objet technique issu du milieu professionnel favorise la mise en place d'un raisonnement scientifique ; appuyé par la « classe laboratoire », l'enchaînement des différentes séquences y trouve une justification cohérente. C'est donc un objet concret, « bridages symétriques » qui nous permettra d'étudier le programme de statique en C.A.P. Après quelques mots sur la méthode utilisée sur le plan scientifique et pédagogique, nous nous attacherons à présenter quelques leçons autour de ce montage.

B) OBJET TECHNIQUE ET OBJET PHYSIQUE ; SCHEMATISATION DE L'EXPERIENCE.

Un des objectifs essentiels de l'enseignement de la physique consiste à développer chez l'élève l'aptitude à créer, assimiler, manier, puis à utiliser des modèles opératoires.

Le crédit actuel accordé à l'idée que l'intelligence de l'élève fonctionne suivant des processus différents de l'adulte nous a amenés à rechercher, en mécanique, les différentes étapes faisant appel à un degré d'abstraction de plus en plus élevé.

Au niveau L.E.P., soucieux de tenir compte d'une part, des capacités des élèves et d'autre part, de leur insertion prochaine dans le monde professionnel, notre préoccupation se situe tant au niveau de l'objet technique et de sa représentation, qu'au niveau du modèle mathématique sur lequel il est possible d'effectuer certaines opérations intellectuelles ; ces dernières seront fructueuses si elles ne sont pas introduites prématurément.

C'est donc l'objet concret « bridages symétriques » issu de la vie professionnelle qui sera notre état initial ; par une suite d'abstractions et *tout en jalonnant l'itinéraire*, on peut accéder au modèle mathématique et l'utiliser : la compréhension et l'étude d'autres systèmes sont facilités lorsque cette étape est atteinte. A ce stade, l'efficacité de cette démarche pédagogique se vérifie par un retour aux conditions initiales.

1. Objet technique et objet physique.

C'est donc, en statique, d'abord le concept de force qu'il faut dégager ; par un inventaire des forces appliquées à un solide convenablement isolé puis par une classification de celles-ci suivant un certain nombre de leurs propriétés communes, l'objet concret est alors présenté aux élèves : une discussion s'engage autour de celui-ci à propos de ses caractéristiques et finalités. De cet objet complexe, parce que constitué de différents éléments ayant manifestement des fonctions différentes (il faudra le prouver ultérieurement), il est possible d'*isoler* telle ou telle partie du système en vue d'une étude à la fois plus simple et plus rigoureuse ; le problème qui se pose est celui du choix de l'élément constitutif de l'ensemble à isoler ; cette notion est fondamentale en mécanique si on veut effectuer une analyse méthodique et complète.

On va donc extraire cet élément et le placer dans des conditions aussi voisines que possible que celles qu'il avait dans le système initial mais plus commodes à étudier (avec des appareils de mesure).

Un premier bilan des actions extérieures auxquelles il est soumis peut être dressé (action de... sur...); s'agit-il par exemple d'un élément soumis à deux actions, les conditions d'équilibre pourront être analysées en modifiant les conditions expérimentales (points d'attache de l'élément, disposition réciproque des actions exercées, tensions...); c'est donc sur ce nouvel objet que des mesures quantitatives pourront être effectuées. En somme, d'un ensemble complexe nous avons extrait des sous-ensembles physiques mieux adaptés à une étude paramétrique.

Mais cette étude expérimentale liée à un seul objet reste un fait isolé. Elle a besoin de se soustraire de toute notion empirique pour que se dégage la loi qui sous-tend les conditions d'équilibre d'un solide soumis à deux actions. Il est donc nécessaire en un premier temps par une généralisation, d'étendre à toute une classe d'individus ce qui a été constaté pour un certain nombre d'entre eux. On comprend alors tout l'apport de la classe laboratoire dans ce domaine : la démarche inductive qui va permettre d'accéder à la loi est constamment soutenue par la

diversité des problèmes concrets posés au niveau de chaque groupe d'élèves, à savoir, différents solides soumis à deux actions différentes et limitées à deux. La synthèse et la discussion de toute la classe sur l'ensemble des résultats de mesure aident ensuite puissamment à extraire le lien commun et, du même coup, débarrassent l'élève des mesures concrètes (mais indispensables) qui ne sont qu'un pont vers l'étape suivante.

C'est en effet sur l'objet physique, solide soumis à deux actions qu'on tente maintenant, par une nouvelle abstraction, de dégager une loi dépouillée de valeurs numériques :

$$\vec{A}_{i/S} + \vec{B}_{j/S} = \vec{0}$$

où S est le solide isolé par la pensée, B et A les points d'applications des deux actions extérieures exercées sur S (1).

La connaissance de cette relation construite est indispensable si on veut prévoir et calculer les effets physiques lors de situations plus complexes ou généraliser ensuite à un solide soumis à plus de deux actions ; de plus, elle seule, permet le dépassement de situations qui resteraient au niveau de la perception, de l'enregistrement ou de la lecture des instruments et donc sans aucune portée scientifique.

De l'objet technique, nous avons donc extrait un objet physique sur lequel, par une série d'expériences, nous avons construit une loi permettant de déterminer les conditions d'équilibre. La modélisation nous a permis le passage des relations numériques aux relations vectorielles : les données concrètes relatives aux mesures ont totalement disparu.

Mais il nous reste maintenant à faire « réintégrer » cet objet dans le système initial, expliquer physiquement (maintenant) ses conditions d'équilibre par rapport aux autres éléments constitutifs du bridage symétrique. Pour en arriver là, il a donc fallu que l'élève « oublie » l'objet technique issu du système initial pour ne « voir » que l'objet physique soumis et exerçant un certain nombre de forces sur le reste du système. De proche en proche, il lui a été ainsi possible d'accéder à la connaissance complète du système initial moyennant une approche expérimentale et une méthode pédagogique appropriées (2).

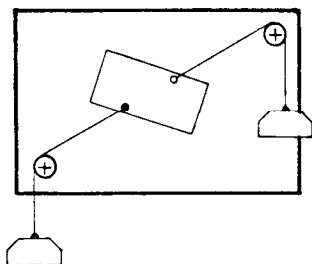
(1) Le calcul vectoriel n'apparaît plus dans le programme de mathématiques. Le P.E.G. Math. et Sciences n'est aucunement gêné de manipuler la grandeur force dont on découvre pratiquement, en Physique, les propriétés mathématiques.

(2) Cette étude a été complétée par des travaux en constructions mécaniques (dessin industriel) et aux ateliers du L.E.P.

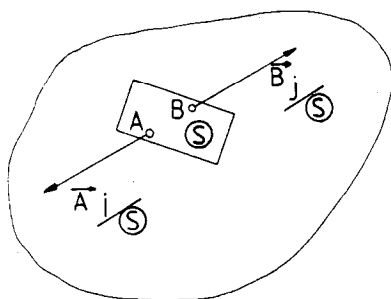
II. Schématisation et géométrisation de l'expérience.

Au L.E.P., il nous semble indispensable de concrétiser les étapes précédemment suivies, c'est-à-dire de rendre compte des différents processus qui ont abouti à la loi. D'une manière plus générale, s'il est souvent navrant de constater que certaines recettes ne sont « apprises » et sues que par cœur, il est par contre souvent souhaitable de « monter » des mécanismes propres à libérer l'élève par la suite et à rendre sa pensée plus efficace lors des modes d'actions plus complexes. La *construction* d'un schéma nous semble bien adaptée pour suivre le déroulement de la pensée de l'élève dans ce domaine et éventuellement la guider ; elle répond en outre à la méthode scientifique qui vise à habituer l'élève à procéder par abstractions successives.

C'est d'abord l'information perceptive que l'élève reproduit presque intégralement dans le *dessin* : morceau de polystyrène blanc, deux crochets, deux ficelles tendues, poulies, supports...



Dessin



Schéma

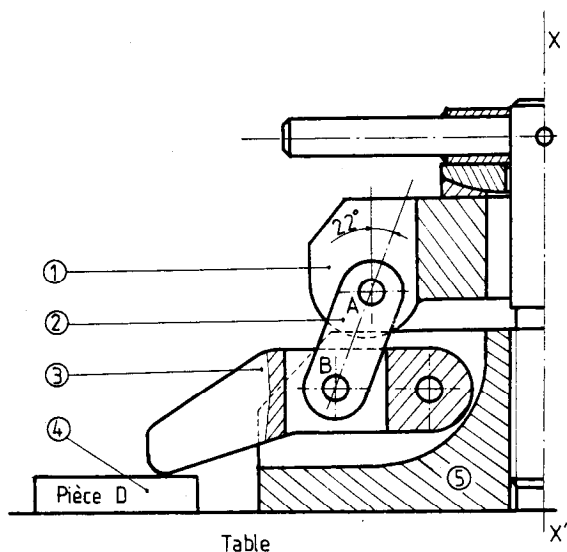
Au stade de la mesure, il devra incorporer deux dynamomètres, « oublier » la couleur et la forme du morceau de polystyrène, les crochets, au profit des « points d'application », les poulies, le support pour se centrer sur *un* solide soumis à deux actions en deux points..

Première abstraction qui conduit au passage du dessin au schéma ; ce dernier ne restitue donc pas la totalité des éléments constitutifs de l'appareil, ne respecte pas la forme ni la couleur, les dimensions ; il ne s'attache qu'aux pièces essentielles de l'appareil ; celles-ci sont en relation étroite avec les variables à étudier : les pièces sont mises en action sous l'effet des variables et toute modification de ces dernières entraîne un changement des pièces essentielles et donc du schéma ! Disparaissent donc, dans ce dernier, les poulies, le support...

Il ne comporte, dans le cas présent qu'un solide (de poids négligeable devant...) soumis à deux actions. Une nouvelle abstraction nous conduit à la géométrisation de la figure ne comportant plus que le solide réduit à un point matériel soumis à deux forces, on atteint donc la notion de modèle sur lequel peut s'exercer la toute-puissance de l'outil mathématique que représente le vecteur ; le calcul vectoriel est abordé de façon graphique. La démarche inductive que nous avons suivie se double ainsi d'une démarche pédagogique adaptée aux élèves de L.E.P.

C) UNE APPROCHE DE LA STATIQUE AU L.E.P.

1. Dessin technique et problème posé.



Un dispositif de blocage, fixé sur la table d'une machine permet d'usiner deux pièces identiques simultanément.

L'effort axial exercé par la vis sur le flasque 1 après serrage est de 5 000 N.

On admettra que le poids des organes est négligeable devant l'action de serrage et que les actions sont dans un même plan.

Déterminer l'action de serrage de la bride 3 sur la pièce 4. On supposera que la direction de cette action est verticale.

II. Présentation de la progression.

Après deux leçons d'introduction pour présenter les caractéristiques d'une action mécanique, notre objectif est, à partir d'un objet technique, un système de serrage de pièces fabriquées en série, de motiver la recherche des lois d'équilibre en les faisant ressentir comme indispensables à l'étude d'autres mécanismes couramment utilisés.

Il est essentiel de montrer aux élèves que certaines actions sont *mesurables* directement, par exemple par le biais d'une clef dynamométrique, et que d'autres ne peuvent être que *calculées*. S'il est utile de connaître l'action de serrage sur la pièce pour savoir si elle risque de « s'échapper » pendant l'usinage, il est tout aussi essentiel de bien connaître les actions s'exerçant sur les axes car le choix de leur diamètre en dépend (résistance des matériaux).

C'est ainsi que vont s'enchaîner logiquement une série de leçons autour de cet objet en vue de dégager les lois fondamentales de la statique.

1) BILAN DES ACTIONS MÉCANIQUES SUR UN SYSTÈME.

Cette première leçon prépare les suivantes.

a) L'élève prend connaissance du dessin technique et observe la maquette en plexiglas pour comprendre le fonctionnement. En remplaçant les pièces (4) par des éponges identiques, on constate qu'il y a une *action* de la bride (3) sur l'éponge car cette dernière *se déforme*.

b) L'élève démonte ensuite le mécanisme pour faire le bilan des actions qui s'exercent sur chaque pièce. Par la suite, il devra atteindre un degré d'abstraction tel qu'il soit en mesure d'effectuer cette démarche par la pensée en partant d'un dessin technique. On isole donc les pièces 1, 2 et 3 et on réalise le tableau bilan de chacune d'elles.

2) CONDITIONS D'ÉQUILIBRE D'UN SYSTÈME SOUMIS A DEUX ACTIONS.

La pièce (2) servira de base à cette étude. En même temps, il serait souhaitable de montrer aux élèves que le poids de la

pièce est négligeable jusqu'à une certaine limite. Il est important en mécanique de faire certaines approximations en les justifiant. La fin de cette leçon laisse un problème posé (celui de l'intensité) et permet de ce fait une ouverture sur la leçon suivante.

3) CONDITIONS D'ÉQUILIBRE D'UN SYSTÈME SOUMIS A TROIS ACTIONS.

Deux pièces de ce montage sont soumises à trois actions :

- l'une présente une symétrie de montage (la pièce 1),
- l'autre n'a pas d'axe de symétrie (la pièce 3).

Ceci permettra de mettre en évidence le cas général 3, et un cas particulier 1. On peut donc dresser le tableau bilan de la pièce 1.

4) PRINCIPE DES ACTIONS MUTUELLES.

A la fin de la leçon « 3 », on connaît « tout » sur la pièce 1. Il s'agit maintenant de redescendre sur la pièce 3, là où porte la question du problème.

Pour passer de 1 à 3, on doit passer par la pièce 2. Le passage se fait au niveau de l'axe A entre 1 et 2 ; il se fait au niveau de l'axe B entre 2 et 3.

L'objectif est ici de découvrir le principe qui permet de changer de pièce : *le principe des actions mutuelles*.

III. Tableau bilan des pièces 1, 2 et 3.

Tableau bilan de 1

	$\vec{A}_{2/1}$	$\vec{A}'_{2/1}$	$\vec{F}_{vis/1}$	$\vec{P}$
Direction	?	?	verticale	négligé
Sens	?	?	bas	
Intensité	?	?	5 000 N	
Point d'application	sur axe A	sur axe A'	sur axe XX'	

Tableau bilan de 2

	$\vec{A1/2}$	$\vec{B3/2}$	$\vec{P}$
Direction	?	?	négligé
Sens	?	?	
Intensité	?	?	
Point d'application	sur axe A	sur axe B	

Tableau bilan de 3

	$\vec{B2/3}$	$\vec{C5/3}$	$\vec{D4/3}$	$\vec{P}$
Direction	?	?	?	négligé
Sens	?	?	?	
Intensité	?	?	?	
Point d'application	sur axe B	sur axe C	sur axe	

Un des intérêts des leçons suivantes sera donc de compléter les tableaux bilans précédents :

(A, B, C et D désignent les axes et

$\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ et $\vec{D}$ désignent les actions au niveau des axes).

IV. Quatre leçons articulées autour de l'objet technique.

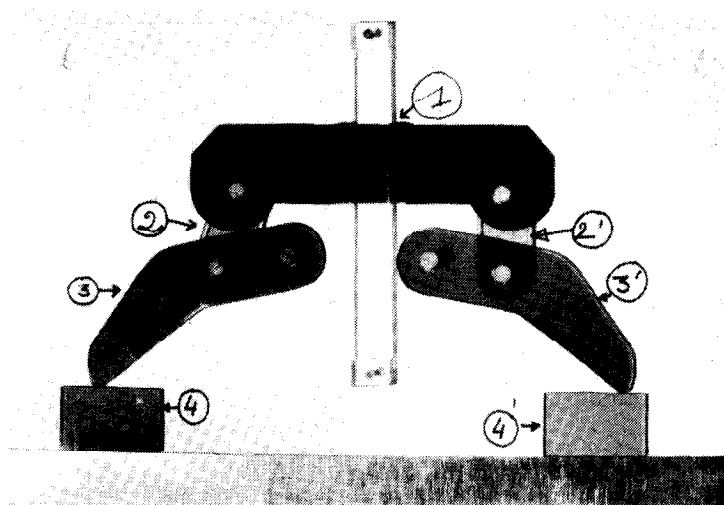
Leçon 1 :

BILAN DES ACTIONS MÉCANIQUES S'EXERÇANT SUR UN SYSTÈME

1) Motivation :

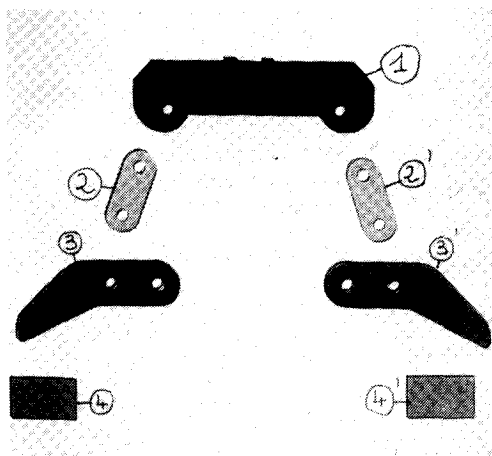
Analyse collective du mécanisme de bridage proposé à partir du dessin technique. Chaque groupe de deux élèves possède un montage réalisé sous forme d'une maquette en plexiglas (photo ci-après) ; il s'agit :

- d'expliquer le fonctionnement du montage,
- de sensibiliser les élèves sur le fait que la connaissance des différentes actions mécaniques est utile,
- de poser le problème : démonter l'objet technique et faire le bilan des actions mécaniques s'exerçant sur chaque élément.

*Montage compact.*

2) Phase expérimentale :

- les élèves démontent le mécanisme pour aboutir au modèle éclaté (photo ci-après),

*Montage éclaté.*

- pour chaque pièce, ils dressent le bilan des actions mécaniques s'exerçant sur chaque pièce.

3) Synthèse des résultats :

On regroupe les résultats des élèves pour dresser *avec eux* les tableaux bilans de chaque pièce.

On insiste sur le fait qu'il faut bien définir sur quelle pièce porte l'étude avant de faire le bilan des actions mécaniques.

On dit :

- qu'on isole le système 1,
- puis on isole le système 2,
- puis on isole le système 3.

On néglige le poids des pièces car l'action de serrage est importante par rapport au poids (cette synthèse doit être une confrontation des résultats des différents groupes ; le professeur élague les remarques superflues dans le cadre du problème posé mais ne fait pas la synthèse lui-même !)

Leçon 2 :

RECHERCHE DES CONDITIONS D'ÉQUILIBRE D'UN SYSTÈME SOUMIS A 2 ACTIONS

1) Motivation :

- Rappel des résultats de l'étude du bilan des actions mécaniques s'exerçant sur chaque pièce du mécanisme étudié la semaine précédente.
- La pièce 2, à condition de négliger son poids, peut être considérée comme un système à deux actions.
- Problème posé : démonter la pièce 2 et la maintenir en équilibre dans la même position que dans le mécanisme au moyen de deux dynamomètres. Envisager au besoin plusieurs possibilités.

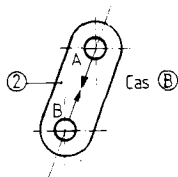
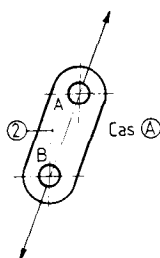
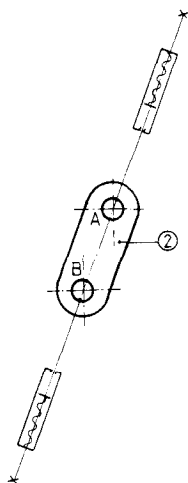
2) Phase expérimentale :

Chaque groupe de deux élèves dispose :

- d'une planche sur support vertical,
- d'un marteau et de clous,
- de 2 dynamomètres (10 N),
- de fil de couture ou de nylon.

3) Synthèse des résultats :

Certains groupes ont réalisé le cas **A**, d'autres le cas **B**.



On en conclut qu'il y a deux possibilités, dans les deux cas :

- la droite d'action est la même,
- l'intensité est la même,
- les sens sont opposés.

4) Utilisation de la loi :

Revenons au mécanisme du dessin industriel.

Choisissons le cas qui convient le mieux *a priori*. Les élèves, en général choisissent le cas **B** puisque 1 appuie sur 2, on sait que la droite d'action est la droite passant par le centre des axes A et B, que l'intensité est la même, mais elle est toujours inconnue : ouverture sur les futures leçons.

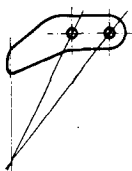
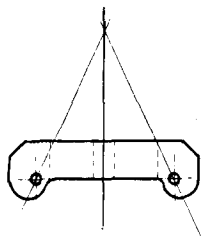
5) Tableau bilan à l'issue de cette leçon : Pièce 2.

Leçon 3 :

CONDITION D'ÉQUILIBRE D'UN SYSTÈME
SOUMIS A 3 ACTIONS1) *Motivation :*

Les pièces 1 et 3 sont des systèmes à trois actions.

Problème posé : A quelles conditions l'équilibre est-il réalisé ?

2) *Phase expérimentale :*

Les élèves réalisent l'équilibre des pièces 1 et 3 en accrochant 3 dynamomètres de façon à maintenir chaque pièce dans la position du montage.

Ils disposent d'une planche sur support vertical, de clous, d'un marteau et de 3 dynamomètres.

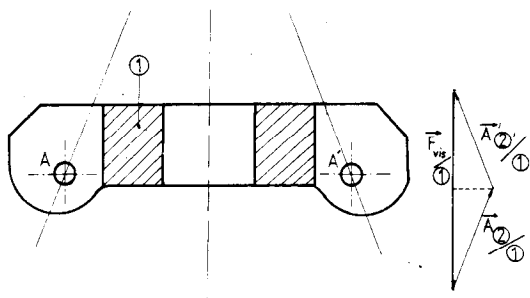
3) *Synthèse et interprétation :*

Dans les deux cas, les droites d'actions sont concourantes.

On introduit ici la notion de somme vectorielle nulle et on constate qu'à l'erreur expérimentale près, le triangle est fermé. Dans le cas de la pièce 1, deux actions ont la même intensité, cela est dû à la symétrie du montage.

4) *Vérification de l'acquisition de la loi :*

On demande aux élèves de terminer l'étude de la pièce 1 du dessin technique.



5) Compléter les tableaux bilans :

Leçon 4 :

PRINCIPE DES ACTIONS MUTUELLES

1) Motivation :

Nous avons maintenant terminé l'étude de la pièce 1, comment faire pour trouver l'action de serrage sur les pièces 4 ?

Il faut passer de la pièce 1 à la pièce 3 en passant par la biellette 2. Problème : On connaît $\vec{A2/1}$; comment trouver $\vec{A1/2}$?

2) Phase expérimentale :

On demande aux élèves de réaliser, à partir du schéma ci-après, le montage proposé.

3) Synthèse des résultats :

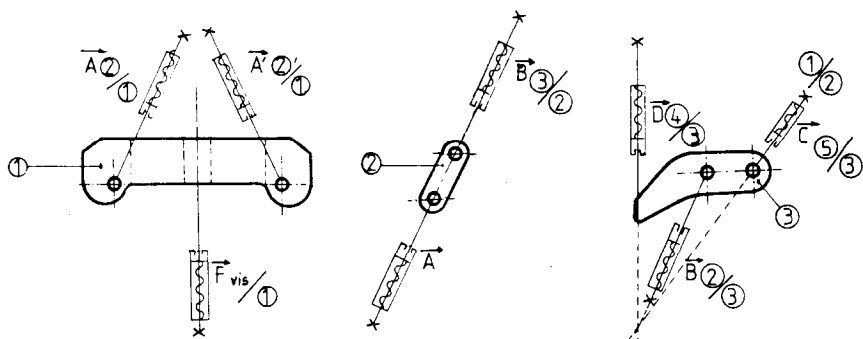
Certains groupes n'ont pas pris le soin de mettre la même intensité pour $\vec{A2/1}$ et $\vec{A1/2}$. On discute de l'équilibre de l'axe lui-même pour justifier ce choix : en effet, si l'intensité n'est pas la même, l'axe n'est pas en équilibre. D'autres n'ont pas bien conservé la droite d'action.

On énonce alors le principe des actions mutuelles : entre $\vec{A2/1}$ et $\vec{A1/2}$, toutes les caractéristiques se conservent *sauf le sens*.

4) Exercice de synthèse :

On propose aux élèves de terminer l'étude de la pièce 2, puis de passer à l'étude de la pièce 3 en appliquant, quand cela est nécessaire, le principe des actions mutuelles ; en particulier, on peut déterminer :

- au niveau de l'axe B, $\vec{B2/3}$ car on connaît $\vec{B3/2}$;
- les conditions d'équilibre de la pièce 3 soumise à 3 actions.



On connaît la direction de $\vec{D}$ et celle de $\vec{B}$; la droite d'action de $\vec{C}$ passe par le centre de l'axe C et l'intersection des directions de $\vec{D}$ et de $\vec{B}$. On fait la somme vectorielle (nulle) qui permet de trouver le sens et l'intensité de $\vec{D}_{4/3}$ et $\vec{C}_{5/3}$ et on fait le tableau des états déduits de **3** ; par action mutuelle, on *déduit* $\vec{D}_{3/4}$.

D) CONCLUSION.

Cette expérimentation avec une classe de C.A.P. mécanicien monteur a été menée au cours du premier trimestre 1982 ; l'apport en pédagogie de la classe laboratoire aide à la mise en place d'une démarche inductive propre à développer un esprit de rigueur scientifique autour d'une situation réelle, créée par un objet concret ; de plus et parallèlement, une matérialisation de l'itinéraire suivi sous forme de dessin, schéma puis modèle, permet de guider et éventuellement de rectifier le processus d'accès aux divers degrés d'abstraction.