

« Le mystère de la licorne » (Hergé)



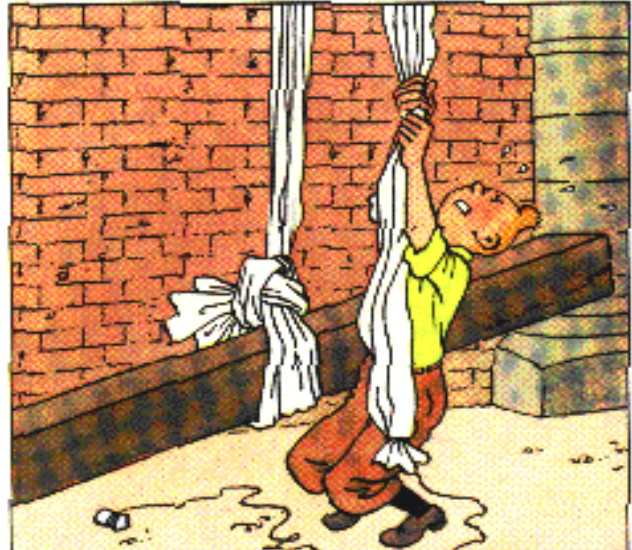
1



2



3



Questions

- ❑ Décrire succinctement le déroulement des événements de 1 à 5

.....
.....

- ❑ On considère que l'extrémité (non visible) de la poutre touche le sol, en **comparant la situation 1** et la **situation 5** cela vous paraît-il vraisemblable ; justifiez votre réponse.

.....
.....
.....

~ Réponses des élèves ~

□ En comparant la situation 1 et la situation 5 cela vous paraît-il vraisemblable ? Justifier votre réponse.

- ✓ La masse de la poutre ne changera pas qu'il la soulève à mains nues ou avec un drap ; la force qu'il exerce sera la même ; donc ce n'est pas possible.
- ✓ Non, cela ne me paraît pas vraisemblable car la force n'a pas changé d'intensité mais seulement de direction.
- ✓ Oui, car en soulevant comme dans la situation 1, on exerce une force sur la tête de la poutre qui n'est pas suffisante. Ton disque (tandis que) la situation 5 le drap est attaché au milieu du poutre ; en exerçant une force sur le drap, le drap exerce une autre sur le poutre, ce qui fait ...
- ✓ La situation est invraisemblable car qu'il soulève la poutre à mains nues ou par l'intermédiaire d'un anneau avec un drap la masse soulevée par Tintin est toujours la même. La force qu'il exerce dans les sens (2 cas) est la même, il aurait pu y arriver avec un système de 2 ou 3 poulies.
- ✓ Oui, l'image 1 il essaie à un bout de la poutre alors qu'à la 5 il met sa force au centre de la poutre.
- ✓ Non, cela n'est pas vraisemblable car s'il n'arrive pas à soulever la poutre à mains nues, il n'arrivera pas à la soulever avec les draps. Et en plus, je vois pas comment il peut passer le drap dans l'anneau.
- ✓ Oui la situation me paraît vraisemblable cela donne à peu près le même effet qu'une poulie et c'est donc plus facile pour lui de porter cette poutre dans la situation 5. Dans la situation 1 il porte sans aide c'est donc plus difficile.
- ✓ Oui cela me paraît vraisemblable car une force est ajoutée par rapport à l'image 1. Dans 1 la force musculaire de Tintin, et le poids de la poutre. Dans 5 le poids de la poutre, la force de Tintin, la force de l'anneau.
- ✓ Non car si il ne peut la soulever au 1, il n'y arrivera pas plus au 5.
- ✓ Non cela me paraît impossible. Dans la situation 1 il dit « impossible, je puis à peine soulever la poutre » et dans la situation 5 il a réussi à passer le drap. Donc cela me paraît infaisable.
- ✓ Non cela me paraît invraisemblable car le drap aura un frottement trop important sur l'anneau, situé plus haut.
- ✓ Oui cela me paraît possible. Dans la situation 1 il essaie de soulever la poutre avec la force de ses bras et de ses jambes. Dans la situation 5, il soulève la poutre avec la force de son corps (son poids). Il fait un mouvement de contre force (Au début, il tire vers le haut pour soulever la poutre et à la fin il tire vers le bas, à l'aide de draps). Il semblerait que la seconde méthode (qui est possible) est la plus efficace.
- ✓ Cela me paraît vraisemblable car dans la situation 1, il a tout le poids du morceau de bois qui repose sur lui ; tandis qu'à la situation 5 il se sert de l'anneau ; donc il s'en sert comme un système de poulie, ce qui va lui répartir le poids du morceau de bois.
- ✓ Oui c'est vraisemblable car c'est plus facile de soulever un solide avec un système de tire, car tintin met tout son poids pour soulever le solide.
- ✓ Cela est vraisemblable car le personnage sur la figure 1, il exerce une action de force vers le haut. Sur l'image 5 le personnage exerce une action de force vers le bas, ce qui fait qu'il a plus de force pour soulever le solide {S} (la poutre).
- ✓ Cela paraît vraisemblable, le point d'application se trouve au milieu de la poutre, l'anneau diminue l'effort à fournir.
- ✓ Dans la situation 1, il essaie de soulever la poutre avec sa force ; tandis que dans la situation 5 il utilise son poids pour créer une force qui attire la poutre vers le haut.
- ✓ C'est vraisemblable car porter une poutre en faisant levier est beaucoup plus facile que sans corde, cela nécessite moins d'efforts. La force est changée de sens par l'anneau donc il a juste à s'accrocher au drap de tout son poids pour lever la poutre (il faut que la poutre soit plus légère que celui qui est suspendu au drap).

7 invraisemblables et 11 vraisemblables

ÉQUILIBRE D'UN SOLIDE EN ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE

I – PROBLÉMATIQUE : “Le mystère de la licorne” Hergé

□ Description de la situation :

Tintin n’arrive pas à soulever la poutre en la tenant à une extrémité. Attachée et tirée, la poutre est amenée sous un anneau Il arrive à soulever la poutre grâce au drap et à l’anneau ; le drap est attaché au milieu de la poutre.

□ Débat entre les élèves (avec la totalité des réponses)

Comparaison entre les situations 1 et 5 (ressemblances et différences)

- Le poids de la poutre n’a pas changé
- On n’exerce pas la force au même endroit.
- Soulever une poutre ...
- Système haltérophile, il y a plus de poulies. C’est la même situation. (dans ce cas l’élève considère que Tintin saute dans la situation 5 comme un haltérophile ???)
- Il met tout son poids en 5, c’est pour cela qu’il y arrive

Enseignant : En s’arc-boutant, Tintin, utilise les muscles de ses bras et de ses cuisses pour soulever la poutre ; il est donc possible que dans la situation 1 la force exercée par Tintin soit plus importante que dans la situation 5

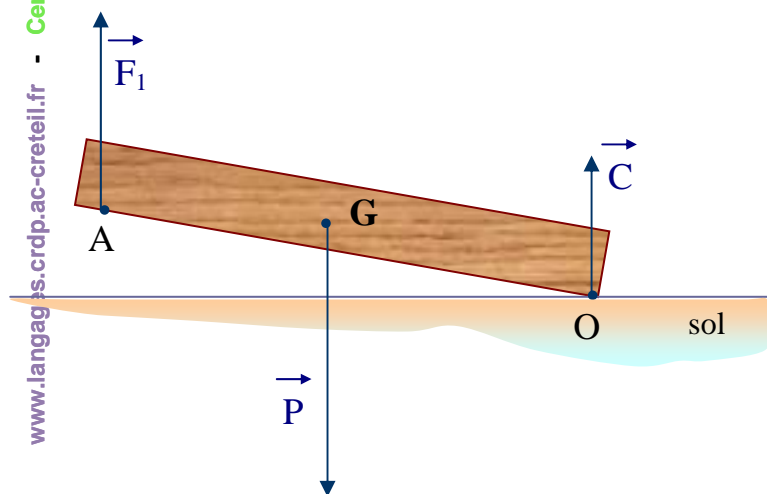
- L’intensité de la force est plus importante en tirant vers le bas qu’en soulevant.
- Il y a plus de force en 5 qu’en 1 à cause de son poids, et la poulie augmente l’intensité de la force.
- L’anneau permet juste le changement de direction de la force : anneau = poulie.

Enseignant : votre camarade a raison si on se réfère au chapitre « Différents types de forces » (intérêt d’une poulie). Évidemment, on néglige le frottement du drap sur l’anneau.

- Soulever la poutre à l’extrémité, revient à soulever « moins de poids » de la poutre.
- En effet, c’est plus simple de soulever à une extrémité que par le milieu.

□ Analysons les situations 1 et 5 en terme de forces qui s’exercent sur la poutre.

Situation 1



Inventaire des actions qui s’exercent sur la poutre :

- action de la terre \vec{P} sur la poutre en G
- action de Tintin \vec{F}_1 sur la poutre en A
- action du sol \vec{C} sur la poutre en O

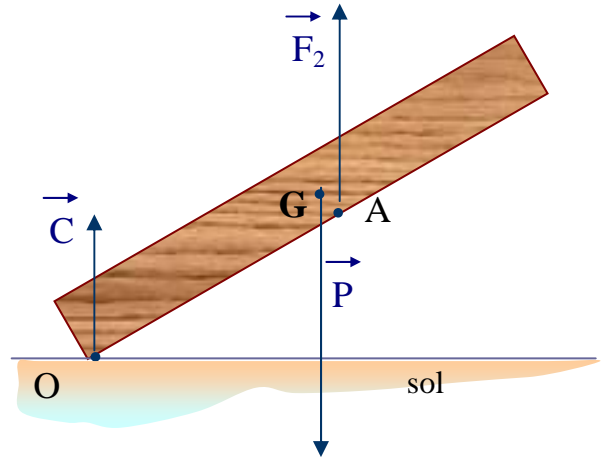
action	nature	Dir. Sens
\vec{P}	À distance répartie	↓
\vec{F}_1	De contact ponctuel	↑
\vec{C}	De contact ponctuel	↑

Situation 5

Inventaire des actions qui s'exercent sur la poutre :

- action de la terre \vec{P} sur la poutre en G
- action du sol \vec{C} sur la poutre en O
- action de Tintin \vec{F}_2 sur la poutre en A

action	nature	Dir. Sens
\vec{P}	À distance répartie	↓
\vec{F}_1	De contact ponctuel	↑
\vec{C}	De contact ponctuel	↑



On considère que l'anneau fait office d'une poulie simple et que le drap transmet intégralement l'action de Tintin. De plus le point d'application A est très proche du point G.

□ **Modélisation :**

- Poutre → barre à trou + masse au milieu (afin d'alourdir la barre)
- Tintin → Dynamomètre
- Sol → axe aimanté fixé au tableau métallique

II- ÉTUDE EXPÉRIMENTALE :

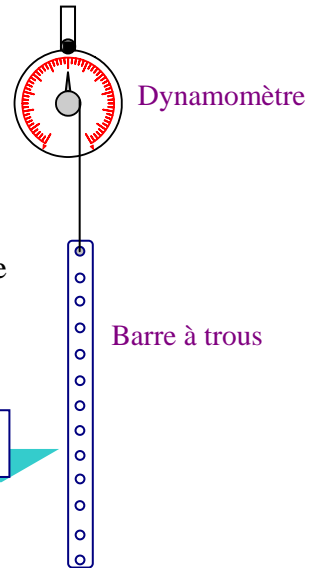
Objectif : Pour l'équilibre réalisé (montage 2), chaque groupe compare l'effet de rotation du poids du système à celui de la force exercée par le dynamomètre.

a) Montages expérimentaux

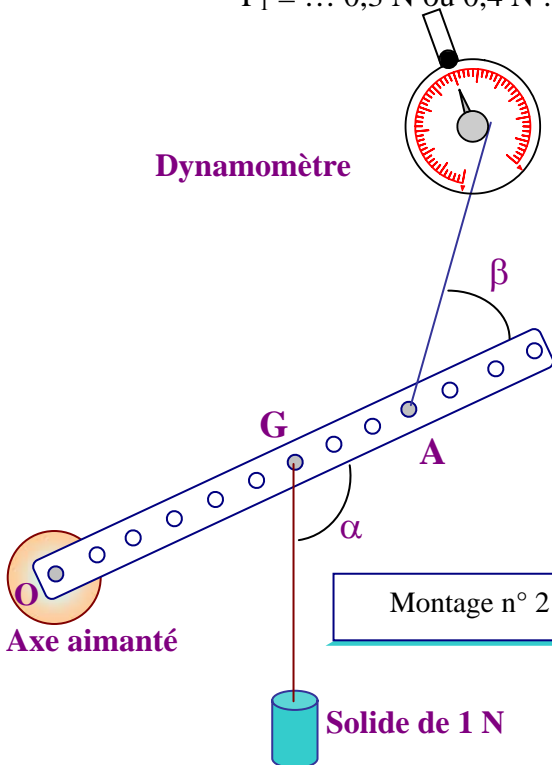
Montage n°1 :

A l'aide du dynamomètre, On mesure le poids de la barre.

$P_1 = \dots 0,3 \text{ N ou } 0,4 \text{ N} \dots$



Dynamomètre



Montage n° 2

Montage n°2 :

Réaliser le montage ci-contre, Le système doit être en équilibre (immobile).

- Noter les valeurs des distances
OG = et OA =
- À l'aide d'un rapporteur, noter les valeurs des angles :
 $\alpha = \dots$ et $\beta = \dots$

□ Déterminer la valeur P du poids du système :
On note P_1 la valeur du poids de la barre et P_2 celle du poids du solide

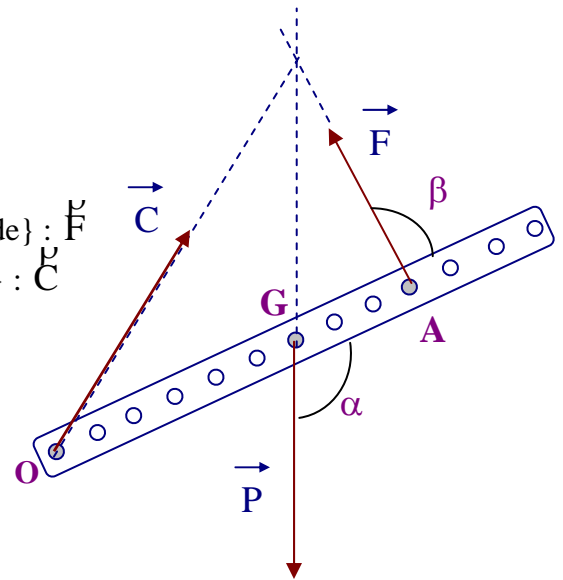
$P = P_1 + P_2 \quad P = 1,3 \text{ N ou } 1,4 \text{ N} \dots$

- Noter la valeur F de la force exercée par le dynamomètre : $F = \dots \text{ N}$

b) Bilan des forces

- Action de la terre sur le système {Barre ; Solide} : \vec{P}
- Action du dynamomètre {D} sur le système {Barre ; Solide} : \vec{F}
- Action de l'axe de rotation sur le système {Barre ; Solide} : \vec{C}

Représentons de manière qualitative, les forces qui agissent sur le système {Barre ; Solide}. La direction de \vec{C} est obtenue de telle manière que les directions des trois forces soient concourantes (une des conditions d'équilibre d'un solide en translation soumis à trois forces).



c) Mesures expérimentales

Chaque binôme ayant noté ses mesures regroupons les valeurs dans un tableau :

Binôme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
OG (cm)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	18	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
P (N)	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
α (°)	120	102	115	112	116	80	99	90	90	105	120	65
OA (cm)	35	27,5	30	30	27,5	36	22,5	22,5	35	35	32,5	25
F (N)	0,8	0,9	0,8	1,1	0,9	0,7	1,1	1,3	1	0,8	0,7	1
β (°)	140	78	120	40	65	120	82	58	45	125	62	115

d) Interprétation des mesures

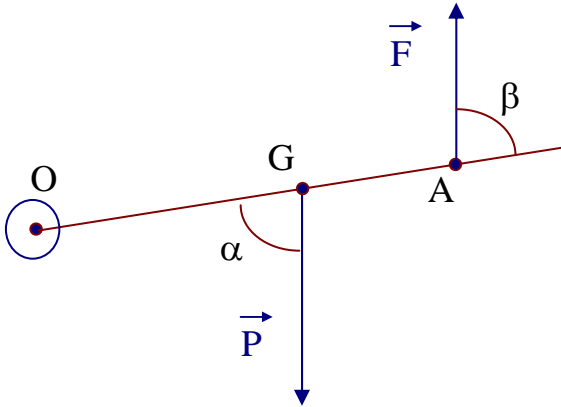
L'objectif est de déterminer une quantité qui reste constante dans chaque cas.

Les élèves font plusieurs tentatives afin de trouver une relation entre OG; P; α ; OA ; F et β . Deux binômes (7 et 5) qui ont travaillé sur leurs propres mesures, on fait remarquer que les produits $OG \times P$ et $OA \times F$ sont égaux.

Comparons les produits $OG \times P$ et $OA \times F$ dans chaque cas et déterminons l'écart Δ entre ces deux valeurs :

Binôme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$OG \times P$	22,75	24,50	22,75	22,75	24,50	21,60	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50
$OA \times F$	28,00	24,75	24,00	33	24,75	25,20	24,75	29,25	35	28	22,75	25,00
Δ	5,25	0,25	1,25	10,25	0,25	3,60	0,25	4,75	10,50	3,50	1,75	0,50

On constate que le produit est constant (Δ faible) dans certains cas (2 ; 3 ; 5 ; 7 ; 11 et 12) ; alors que pour d'autres il avoisine les 45 % de la mesure. **Donc, on ne peut admettre cela comme une loi.** Représentons les forces dans le cas 7 cité ci-dessus :



On constate que les deux forces ont une direction parallèle, ce qui en fait un cas particulier; de même pour les mesures des cas 2, 3, 5, 11 et 12.

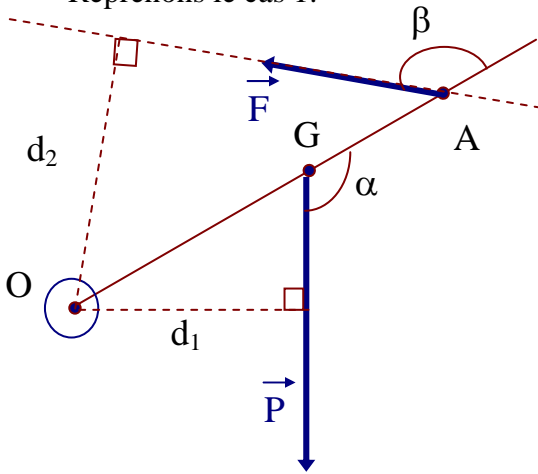
Donc la relation :

$$\mathbf{F} \times \mathbf{OA} = \mathbf{P} \times \mathbf{OG}$$

N'est valable que dans les cas particuliers où $\vec{F} \parallel \vec{P}$; mais dans les autres cas :

$$\mathbf{F} \times \mathbf{OA} \neq \mathbf{P} \times \mathbf{OG}$$

Reprenons le cas 1:



représentons les forces qui sont capables de faire tourner la barre OA autour de l'axe de rotation O, c'est à dire \vec{F} et \vec{P} . On voit, intuitivement, que C n'intervient pas dans la rotation de la barre ; on verra pourquoi par la suite.

Représentons la projection orthogonale d_2 et d_1 de l'axe O sur les directions des forces \vec{F} et \vec{P} respectivement.

En utilisant la trigonométrie dans un triangle rectangle, on obtient :

$$\sin(\pi - \alpha) = \frac{d_1}{OG} \quad \text{et} \quad \sin(\pi - \beta) = \frac{d_2}{OA}$$

Rappels mathématiques : (cercle trigonométrique)

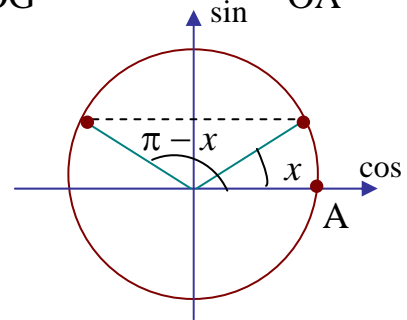
Nous avons vu dans le chapitre « Le cercle trigonométrique » que : $\sin(\pi - x) = \sin(x)$.

Remarque pour les collègues :

$$\text{Le moment d'une force s'écrit : } \vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{F} \wedge \vec{OM}$$

$$\text{Dont la norme est } M_{\vec{F}/O} = F \cdot OM \cdot \sin(\vec{F}; \vec{OM})$$

Ce qui implique que l'angle, à considérer dans la loi, est bien celui qui est choisi par les élèves. Néanmoins cela ne nous empêche pas de choisir l'autre angle, étant donné que le produit vectoriel n'est pas au programme des classes de LP.



Donc obtient pour d_1 et d_2 :

$$d_1 = OG \times \sin(\alpha) \quad \text{et} \quad d_2 = OA \times \sin(\beta)$$

$$d_2 = 22,50 \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad \text{et} \quad d_1 = 15,15 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Calculons $F \times d_2$ et $P \times d_1$

$$F \times d_2 = 18 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} \quad \text{et} \quad P \times d_1 = 19,7 \cdot 10^{-2} \text{ Nm}$$

On constate que les deux résultats sont très proches.

Effectuons le calcul pour toutes les mesures réalisées lors du T.P. ; et déterminons l'écart

$$\Delta = |F \times d_2 - P \times d_1|$$

Binôme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P (N)	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
$d_1 \times 10^{-2}$ m	15,15	17,12	15,86	17,23	15,73	17,73	17,28	17,50	17,50	16,90	15,15	15,86
$P \times d_1 \times 10^{-2}$ (N.m)	19,7	24,0	20,6	22,4	22,0	21,3	24,2	24,5	24,5	23,7	21,2	22,2
F (N)	0,8	0,9	0,8	1,1	0,9	0,7	1,1	1,3	1	0,8	0,7	1
$d_2 \times 10^{-2}$ m	22,50	26,70	25,98	19,28	24,92	31,18	22,28	19,08	24,75	28,67	28,70	22,66
$F \times d_2 \times 10^{-2}$ (N.m)	18	24,0	20,9	21,2	22,4	21,8	24,5	24,8	24,7	22,9	20,1	22,7
$\Delta \times 10^{-2}$ (N.m)	1,7	0	0,3	1,2	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,8	1,1	0,5

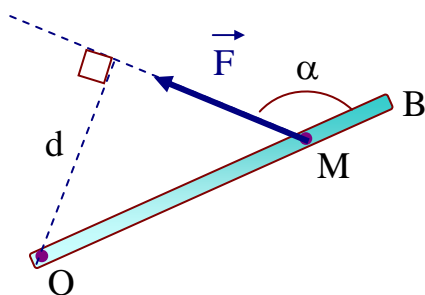
Dans la majorité des cas (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 12) l'écart Δ entre les deux valeurs est inférieur à 4% le plus grand écart Δ est de 7,5 % pour le cas 1.

On constate que : à l'équilibre une quantité reste invariante

III - MOMENT D'UNE FORCE

a) Définition :

À partir des mesures expérimentales précédentes, on peut définir une grandeur physique, qui reste invariante dans certaines conditions.



Soit une tige OB mobile autour de l'axe O, soumise à une force \vec{F} au point M. Le moment de la force \vec{F} par rapport à O, noté $M_{F/O}^p$ s'écrit :

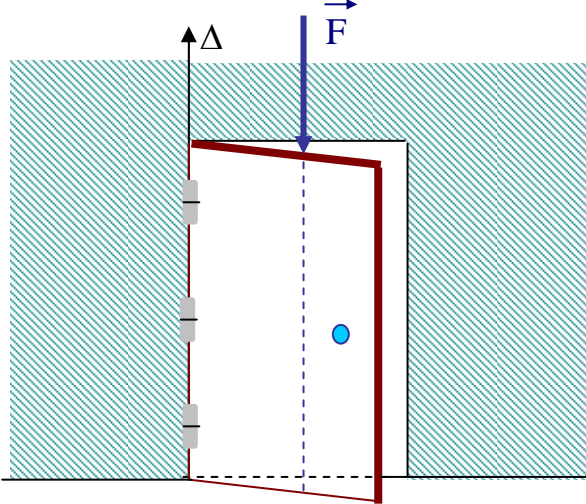
$$M_{F/O}^p = F \times OM \sin(\alpha) \quad \text{ou} \quad M_{F/O}^p = F \times d$$

d étant la distance Euclidienne de O par rapport à la direction de \vec{F}

Le moment d'une force par rapport à un axe, peut être définie comme la capacité d'une force à faire tourner le solide autour de l'axe, dans un sens ou dans l'autre, plus ou moins vite.

Unité du moment d'une force : le newton.mètre (N.m)

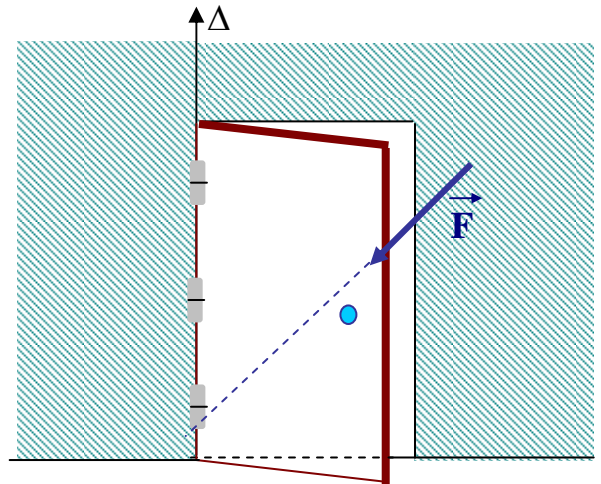
b) Cas particuliers



Exemple 1: soit une porte assujettie à tourner autour de l'axe Δ vertical, passant par ses gonds (porte du labo).

On exerce une force \vec{F} de direction parallèle à Δ (pour des enseignants sportifs, s'accrocher à la porte). On constate que la porte ne tourne pas

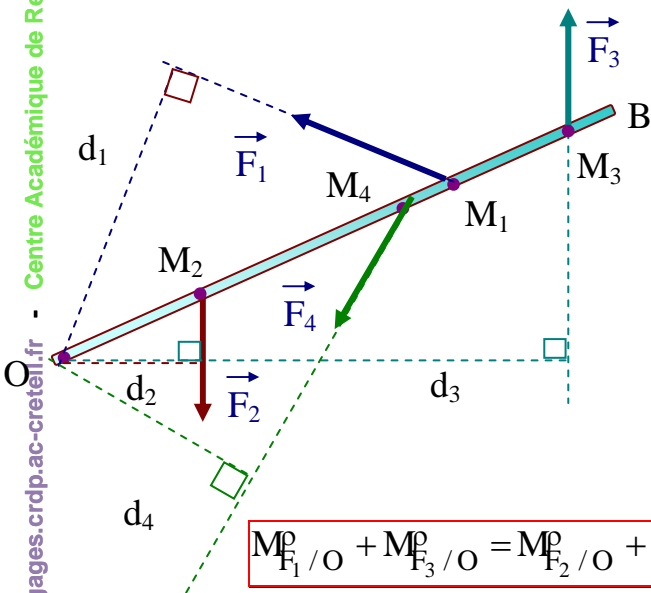
Lorsque la direction de la force \vec{F} est parallèle à l'axe de rotation Δ, son moment est nul.



Exemple 2 : On exerce sur la même porte une force \vec{F} dont la direction coupe l'axe de rotation Δ de la porte .

Lorsque la direction de la force \vec{F} coupe l'axe de rotation Δ, son moment est nul (car la distance d est nulle)

III- THÉORÈME DES MOMENTS



Soit un solide assujetti à tourner autour d'un axe Δ, passant par O.

Le solide est en équilibre autour de O, si la somme des moments des forces qui le font tourner dans un sens est égale à la somme des moments des forces qui le font tourner dans l'autre sens.

Dans l'exemple considéré (voir figure), on considère que la barre est soumise à cinq forces ; en comptant l'action de l'axe de rotation sur la barre.

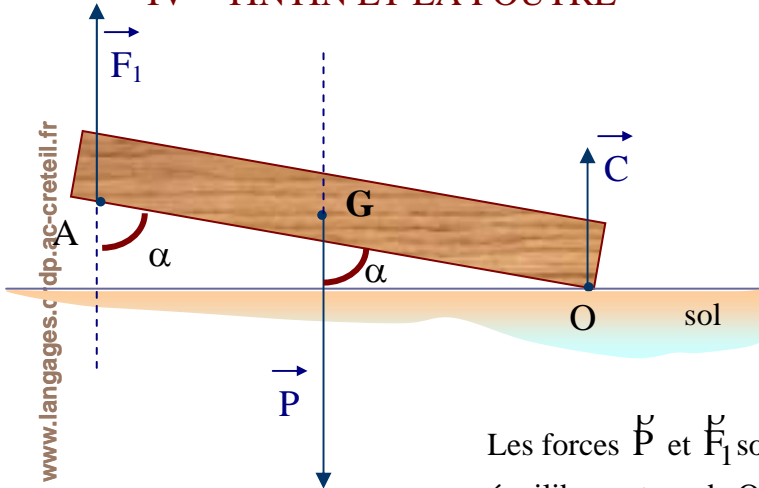
$$M_{F_1/O}^p + M_{F_3/O}^p = M_{F_2/O}^p + M_{F_4/O}^p \Rightarrow F_1 d_1 + F_3 d_3 = F_2 d_2 + F_4 d_4$$

Sinon on choisit un sens positif de rotation, et le théorème des moments devient :

Le solide en rotation autour d'un axe est en équilibre si la somme algébrique des moments des forces est nulle.

$$M_{F_1/O}^p + M_{F_3/O}^p - M_{F_2/O}^p - M_{F_4/O}^p = 0$$

IV – TINTIN ET LA POUTRE



Situation 1 : La poutre est assujettie à tourner autour de O, déterminons les moments de chaque force.

$$M_{C/O}^P = 0 \text{ car } \vec{C} \text{ coupe l'axe de rotation.}$$

$$M_{P/O}^P = P \times OG \sin(\alpha)$$

$$M_{F_1/O}^P = F_1 \times OA \sin(\alpha)$$

Les forces \vec{P} et \vec{F}_1 sont parallèles. On considère la poutre en équilibre autour de O; donc : $M_{F_1/O}^P = M_{P/O}^P$

En conclusion : $F_1 \times OA \sin(\alpha) = P \times OG \sin(\alpha) \Rightarrow F_1 \times OA = P \times OG$

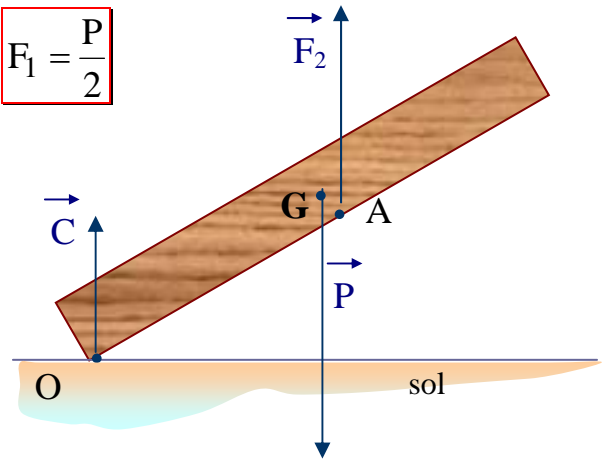
$$F_1 = P \times \frac{OG}{OA} \text{ or } OA = 2 \times OG, \text{ donc } F_1 = \frac{P}{2}$$

Situation 5 :

En faisant le même raisonnement que pour la situation 1, on obtient le résultat suivant :

$$F_2 \times OA = P \times OG \text{ or } OA \approx OG \text{ donc,}$$

$$F_2 \approx P$$



Remarque pour les collègues : Il faut de plus rajouter (ce que nous avons omis de faire) que si $OA > OG$ alors $F_2 < P$ et donc $C > 0$, ce qui implique que l'extrémité O de la poutre touche bien le sol.

Conclusion :

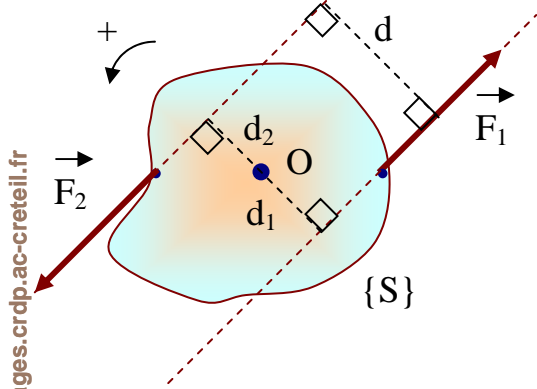
Si l'on compare les deux situations, cela paraît invraisemblable; car dans la situation 5, Tintin doit exercer une force dont l'intensité est le double que celle de la situation 1.

Dans la situation 5, Tintin peut soulever un objet ayant, au maximum, son propre poids ; il est évident que la poutre est plus lourde que Tintin.

V – COUPLE DE FORCES

Soit un solide {S} mobile autour d'un axe O, soumis à un couple de forces $(\vec{F}_1; \vec{F}_2)$

Un couple de forces est constitué de deux forces de directions parallèles (distances de d), de même valeur F et de sens contraire.



Cas 1 : (voir figure ci-contre)

Déterminons le moment total $M_{T/O}$, choisissons un sens de rotation positif.

$$M_{F_1/O}^p = +F_1 \cdot d_1 \quad \text{et} \quad M_{F_2/O}^p = +F_2 \cdot d_2$$

$$M_{T/O} = M_{F_1/O}^p + M_{F_2/O}^p = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2$$

$$\text{or } F_1 = F_2 \text{ donc on peut écrire : } M_{T/O} = F \cdot (d_1 + d_2)$$

$$\text{de plus } d_1 + d_2 = d \quad ; \quad \text{donc } \boxed{M_{T/O} = F \times d}$$

Cas 2 : les deux forces sont situées du même côté de l'axe de rotation (voir figure ci-contre).

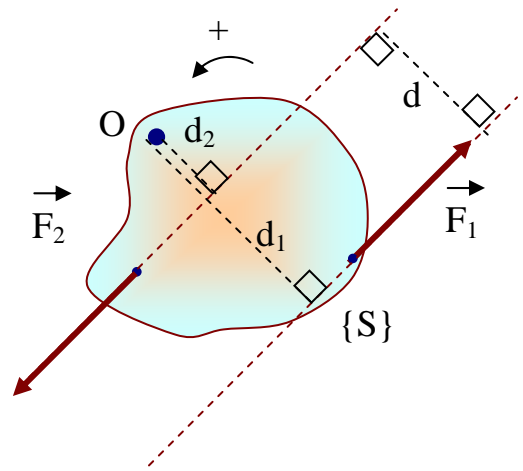
Déterminons le moment total $M_{T/O}$

$$M_{F_1/O}^p = +F_1 \cdot d_1 \quad \text{et} \quad M_{F_2/O}^p = -F_2 \cdot d_2$$

$$\text{donc } M_{T/O} = F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2 \quad \text{or } F_1 = F_2 \text{ donc}$$

$$M_{T/O} = F \cdot (d_1 - d_2), \text{ de plus } d_1 - d_2 = d$$

$$\text{en conclusion : } \boxed{M_{T/O} = F \times d}$$



LE MYSTÈRE DE LA LICORNE ⁽¹⁾

C'était le temps des récompenses
Qui allaient à ceux qui ont la chance
D'apprendre dès leur enfance
Tout ce qui ne leur servira pas
J. Brel

INTRODUCTION

Cette séquence nécessite certains pré-requis :

- En sciences physiques
 - Équilibre d'un solide (en translation) soumis à plusieurs forces
 - Différents types de force ⁽²⁾ : le poids, poussée d'Archimède, force de contact (frottement), force de rappel d'un ressort et intérêt d'une poulie.
- En mathématiques
 - Trigonométrie dans le triangle rectangle.
 - Vecteurs.

L'objectif de cette séquence est de mettre les apprenants dans une situation où ils doivent mobiliser des savoir et/ou des procédures déjà acquis (ou supposés l'être), pour résoudre un problème, et construire un nouveau concept. En conclusion, nous proposerons aux élèves une évaluation qui sous-tend les mêmes objectifs pédagogiques.

Avertissement

Cette séquence est un « patchwork » de cours réalisé avec plusieurs classes sur plusieurs années.

- ✓ Le débat concerne la classe de BEP électronique (2002 – 2003). Les élèves ont mis en œuvre le montage et réalisé des mesures ; mais pour différentes raisons, sur lesquelles nous reviendrons par la suite, l'analyse et le traitement des mesures n'ont pu se faire.
- ✓ La partie expérimentale et l'analyse des mesures ont été réalisées par les classes de BEP électronique et électrotechnique (1998 – 1999) et celle de BEP Bioservices (2000 – 2001). En ce qui concerne la classe de BEP Bioservices la démarche globale fut identique : Situation-problème → Modélisation et mise en œuvre expérimentale → construction du concept. Mais de manière plus condensée (les relations trigonométriques ont été écartées, nous avons utilisé une autre approche de la distance euclidienne entre la direction de la force et l'axe de rotation, de même les écarts entre les résultats ont été abordés autrement) et avec un peu plus de guidage de la part de l'enseignant.

PROBLÉMATIQUE ET DÉBAT

Même si Gagné ⁽³⁾ situe « la résolution de problèmes » au faite de la hiérarchie des procédures d'apprentissage ; même si les obstacles des élèves résident dans la difficulté à appliquer ce qu'ils ont appris en cours quand il faut résoudre un problème (pour peu que ce problème s'écarte, même légèrement, des exercices résolus en classe) ou dans la difficulté à repérer les éléments pertinents d'un problème en adéquation avec leurs connaissances (selon S. Johsua et J. J. Dupin ⁽⁴⁾), l'obstacle principal, selon notre expérience, est l'association étroite que font les apprenants entre la problématique et la connaissance, c'est à dire que les procédures formelles ou algorithmiques utilisées pour résoudre un problème ne peuvent s'appliquer qu'à ce dernier (à chaque problème **sa** solution **unique**). De manière plus évidente, après une séquence où l'on « construit » une connaissance (savoir, concept, notion ...) et des procédures,

lors des séquences d'application (résolution d'exercices) les élèves ne pensent même pas à ouvrir leur "cahier de cours". Si on veut combattre cet obstacle bachlardien de consommation (plus on fait d'exercices, mieux on comprend le cours...), il faut utiliser alors des stratégies qui poussent les apprenants à se réapproprier leur cours. Mais il y a un prix à payer, entre autres, résoudre un exercice en une heure.

L'utilisation de problématiques peut être l'un des points de départ dans l'interaction entre l'élève et son apprentissage ; selon Resnick⁽⁵⁾ : " *L'enseignement doit être conçu non pas pour mettre des connaissances dans la tête des élèves ; mais pour mettre des élèves dans les situations qui leur permettent de construire des connaissances structurées...*". Le point de départ consiste à **instaurer un doute** dans l'esprit des apprenants ; en cela nous sommes en plein accord avec G. Bachelard sur la nécessité " .. *d'une problématique antécédente à toute expérience qui se veut instructive, une problématique qui se fonde, avant de se préciser, sur un doute spécifique, sur un doute spécifié par l'objet à connaître ... Le doute doit être appliqué à un objet, le doute en soi est inefficace...*" ⁽⁶⁾. Nous précisons que le doute est spécifique à la problématique, non la solution.

Dans cette séquence, il s'agit de mettre les élèves devant un récit "ludique" et quotidien (bande dessinée) ; de pousser les apprenants à avoir une attitude critique devant une information par l'image. L'idée est inspirée d'un ouvrage de Jean-Marc Lévy-Leblond⁽⁷⁾.

Dans la première étape, les élèves sont confrontés au document et doivent donner une réponse aux deux questions posées.

La seconde étape consiste à recueillir toutes les réponses dans un document distribué aux élèves et débattre par la suite. Selon J. P. Astolfi, B. Peterfalvi et A. Vérin⁽⁸⁾ le débat scientifique dans une classe est souvent *dialogal et non dialogiste*, car effectivement les échanges sont dus à des interventions successives et croisées d'interlocuteurs distincts (*dialogal*) ; mais reste monologique, dans la mesure où n'existe qu'une progression thématique unique (celle du maître), et non deux discours qui se confrontent (*dialogiste*). Mais ce qui ressort de ces expériences d'échanges et de dialogue entre les élèves, c'est que même la progression thématique unique reste difficile car l'enseignant est confronté à une attitude "égocentrique" de l'élève qui émet **son** idée et ne porte aucun intérêt à l'intervention précédente ; ce qui rejoint la théorie de J. Piaget⁽⁹⁾ sur l'évolution et la construction des concepts chez l'enfant.

De même M. Altet⁽¹⁰⁾ distingue plusieurs types " d'épisodes " dans les échanges en classe :

- *Épisode inducteur*, orienté par l'enseignant qui dirige les échanges en fonction de son objectif final,
- *Épisode médiateur*, où l'enseignant met en avant les apports des élèves, stimule les attitudes actives et se propose en intermédiaire entre les acquis de l'apprenant et le concept à construire,
- *Épisode adaptateur*, ici l'enseignant considère l'élève comme un individu à part entière et ne fait qu'accompagner l'élève (personne ressource) dans sa construction du savoir, en acceptant les divergences et les écarts par rapport à ses objectifs initiaux.

Cette approche des échanges en classe reste un **modèle théorique**. Les débats et les échanges verbaux dans une classe sont soumis à des conditions, des contraintes diverses et à certains paramètres. La condition principale est la participation **volontaire** de l'élève dans l'échange et la contrainte est d'obtenir une réelle **construction / argumentation** dans les idées soumises à l'ensemble de la classe. Le paramètre essentiel est l'instauration d'un climat de confiance

dans l'échange et que l'erreur (réponses "fausses" ou mal exprimées) est nécessaire à l'avancement du débat.

L'instauration du débat *dialogal*, n'est pas du fait de l'enseignant (nécessairement) comme le sous-entend J. P. Astolfi ⁽¹¹⁾, arguant "l'insécurité" professionnelle et le corporatisme des enseignants de sciences, mais peut avoir pour source le fait que l'élève pense que c'est un marché de dupes, car l'enseignant "connaît la réponse". Expérimenter sans protocole écrit, débattre sans que l'enseignant dirige les débats (dialogistes) peut poser un véritable problème pour l'apprenant. Comme le souligne V. Host ⁽¹³⁾ : les pédagogies invisibles engendrent l'anxiété chez certains élèves. La relation maître-élève est souvent vécue par l'apprenant comme une imposition ou un contrôle ; ce dernier perd alors son énergie à déterminer ce qu'on attend de lui.

En conclusion, permettre des débats constructifs dans une classe demande une gestion complexe de la part de l'enseignant :

- partage du temps de parole,
- amener les élèves à débattre entre eux,
- permettre à ce que des idées émises, par les élèves, soient débattues de manière approfondie,
- pousser des élèves, qui s'expriment rarement, à intervenir,
- cadrer le débat, sans pour autant imposer la thématique du maître...

Le véritable écueil dans ce genre d'approche ne se situe pas dans la divergence des débats, mais dans l'absence d'échanges entre les élèves.

MODÉLISATION ET EXPÉRIMENTATION

La seule conclusion, à la suite du débat, est d'introduire la nécessité de mesures expérimentales afin d'infirmer ou de confirmer la vraisemblance de la situation.

La première étape consiste à modéliser le problème, en comparant les deux situations en terme d'actions qui s'exercent sur la poutre. À ce stade les élèves ont acquis des "réflexes" qui permettent de bien délimiter le problème à étudier. Ceci rassure les apprenants, dans la mesure où le domaine scientifique est une suite logique des séquences précédentes. Cela permet de conforter les connaissances déjà acquises et de mettre en évidence la notion de trame conceptuelle.

La seconde étape se situe dans la transposition du problème initial en un problème "scolaire". Il s'agit ici d'une autre forme de modélisation : adaptation d'une situation avec des outils (objet, appareils de mesure...) disponibles en laboratoire de sciences physiques. Remplacer la poutre par une barre rigide et Tintin par un dynamomètre, est une démarche aisée pour les élèves (déjà acquise dans d'autres séquences) ; la modélisation, dans ce cas est l'utilisation de l'analogie. *Alourdir* la barre en accrochant un solide en son *centre de gravité* ; la difficulté ou l'obstacle sérieux consiste à remplacer **le sol** par un **axe aimanté**, certains binômes ont essayé de faire tenir la barre à trous posée sur la tranche, mais l'instabilité de l'équilibre les a obligé à abandonner cette piste. Dans ces deux cas l'analogie ne fonctionne plus, la modélisation a une fonction de construction de savoir, en utilisant les propriétés physiques des objets : le poids s'exerce au centre de gravité, et le sol a pour fonction de faire pivoter la poutre.

A ce stade de l'analyse, se pose la question du modèle et de la modélisation en sciences expérimentales. A. M. Drouin ⁽¹³⁾ explique qu'il existe plusieurs types de modélisation ou de modèles : figuratif ou opératif, des modèles ayant des statuts d'analogie ou une fonction heuristique. De plus la frontière entre modèle et théorie ou entre modèle et lois n'est pas très

nette. D'après G. Lemeignan et A Weil-Barais ⁽¹⁴⁾, la modélisation consiste à passer d'une représentation en terme d'objets (propriétés, fonctions) à une représentation en terme de systèmes (états, transformations), et cela avec un abîme de conceptualisation entre les deux représentations.

Mais le seul élément commun est que chaque modèle (ou modélisation) a un objectif précis. Dans cette séquence la première modélisation a pour objectif d'éliminer certains paramètres qui peuvent ne pas intervenir dans l'étude et ne se rattacher qu'à certaines propriétés ; la seconde modélisation a pour but de transposer le problème en des quantités mesurables et de le rendre "opératoire".

La troisième forme de modélisation est une conceptualisation des mesures. Elle consiste à déterminer les paramètres (grandeur à mesurer) à prendre en compte afin de mettre en évidence un invariant, c'est le passage d'une représentation-objets à une représentation-systèmes, cité plus haut. De manière épistémologique, la tâche d'une science est de rechercher les invariants qu'ils soient de structure mathématique, d'essence qualitative ou ayant un statut fonctionnel de relation ⁽¹⁵⁾. De plus, le théorème des moments est relativement récent par rapport à l'usage de la balance. Selon G. Bachelard ⁽¹⁶⁾ il se forme "une conduite de la balance" car l'instrument précède la théorie. Le "concept" de la balance, qui rationalise de manière simpliste la pensée, obscurcit le concept du moment d'une force par rapport à un axe. À titre d'exemple, certains élèves ont réussi à résoudre un problème (de pesée) dans une évaluation en utilisant la fameuse "conduite de la balance", et ont eu de grandes difficultés dans l'évaluation formatrice ou dans d'autres exercices ne se rapportant pas à la pesée.

De manière générale, les élèves des sections professionnelles sont assez "adroits" dans la pratique expérimentale (pour preuve les bons résultats, en moyenne, des élèves de BAC dans l'épreuve expérimentale). Par contre les protocoles écrits classiques restent inopérants, combien de fois nos élèves, après avoir réalisé le montage expérimental, posent la question "Et maintenant, Monsieur, que fait-on ?".

L'expérimentation ne s'oppose pas à la modélisation, comme l'explique C. Orange ⁽¹⁷⁾. Elle peut être un moyen, parmi d'autres, de soumettre à la critique et de faire évoluer les modèles explicatifs : comme passer du cas particulier où les droites d'action sont parallèles (première tentative de déterminer l'invariant), au cas général. Par contre il faudrait, peut être, revenir sur la notion d'erreurs expérimentales, ce qui n'a pu être fait dans cette séquence. Il est primordial de relativiser la mesure aux yeux de nos élèves pour plusieurs raisons, dont les principales sont :

- Permettre à l'erreur d'exister en tant que moyen de contrôle, ou de validation de la mesure,
- Redonner à la mesure expérimentale le sens scientifique de l'expérience, qui est celui d'infirmer une théorie et non de la confirmer (du latin *experi* : éprouver),
- Mettre une réalité scientifique sur les expériences qui ne "marchent pas", qui sont vécues comme un échec par l'enseignant et par les élèves.

ÉVALUATION FORMATIVE ET/OU FORMATRICE

De manière générale, les évaluations des élèves sont souvent de la forme sommative (bilan fiable au terme d'un apprentissage) qui permettent à l'enseignant d'évaluer les aptitudes des élèves, avec pour objectif les examens finaux (BEP, BAC). Ces évaluations sont structurées de manière claire et directive (hypothèses dans la question, utilisation des mots « déduire » « montrer »...) ; de telle manière qu'une problématique est subdivisée en plusieurs questions,

en évitant les questions « à tiroir ». Ce type d'évaluation est nécessaire, afin de permettre à l'élève de se préparer aux examens finaux.

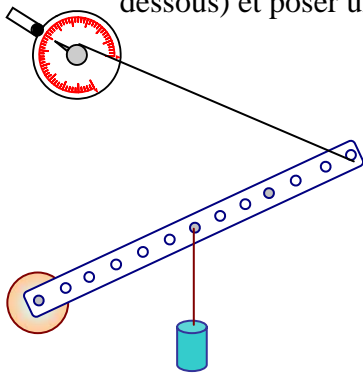
Néanmoins l'évaluation formative s'intéresse plus à la régulation des démarches pédagogiques et aux procédures des tâches à accomplir. L'évaluation formatrice y ajoute la représentation correcte des buts, la planification préalable de l'action et l'appropriation des critères des erreurs. (G. Nunziati⁽¹⁸⁾).

Ce type d'évaluation se divise en cinq phases d'une action complexe^{(19) (20) (21)} :

- La représentation du but et celle des propriétés des objets sur lesquels on doit œuvrer pour atteindre ce but ;
- L'anticipation de la démarche à suivre, comme une prédiction avant toute réalisation ;
- La planification : choix d'un ordre de réalisation ;
- L'exécution proprement dite ;
- Le contrôle, élément constitutif de l'action qui évalue chaque phase du déroulement.

Ces différentes phases ne sont pas, nécessairement, successives et peuvent s'entrecroiser.

L'évaluation consiste à « poser », au tableau, un montage expérimental (schéma ci-dessous) et poser une question :



Déterminer l'action de l'axe de rotation sur la barre.

Consignes orales : ne pas « toucher » le montage (ne pas décrocher le solide de poids inconnu ni déplacer le dynamomètre ou la barre...).

Les élèves sont regroupés en binôme ou trinôme, ils doivent remettre leur brouillon et leur copie finale par binôme (ou trinôme) ; dans certaines classes un transparent est mis à leur disposition, afin d'exposer leur démarche aux autres binômes.

De manière générale, les élèves sont décontenancés par ce genre d'évaluation sans hypothèses ni valeurs numériques. Ils restent assis à leur place, durant les cinq premières minutes, puis réalisent qu'il est nécessaire de prendre des mesures, et se lèvent afin de se rapprocher, d'observer et de 'soupeser'. Une des premières anticipations est de bien scruter le solide, afin de voir si la masse y est inscrite, par la suite de le 'soupeser'. La décision (autre anticipation) de mesurer les distances et les angles α , souvent, pour objectif de reproduire le montage à une échelle cohérente. Les apprenants pensent, en premier lieu, passer par une solution 'géométrique' ; celle-ci existe, mais nécessite de conceptualiser le montage en deux aspects :

- ✓ échelle des distances (afin de déterminer la direction de \vec{C}) et celle des forces pour le dynamique,
- ✓ celle de construire une somme de trois vecteurs, connaissant un seul et la direction pour les deux autres.

Le brouillon des élèves permet de visualiser les différentes phases de cette évaluation formatrice. Les élèves de BEP électronique 2002/2003, ont écrit directement au 'propre' leur démarche et conclusion.

Nous avons repris le brouillon d'un binôme de BEP électronique 1998 / 1999 en annexe I ; et la copie d'un binôme de BEP électronique 2002 / 2003, en annexe II, qui fait référence au moment d'une force.

Dans la copie en annexe I, la représentation du but consiste en une représentation des forces sur la barre d'une manière cohérente (y ajoutant même l'intersection des droites d'action) L'anticipation des démarche se remarque à partir de la partie hachurée qui montre que les élèves ont testé d'autres voies afin de déterminer le poids du système. La planification s'observe dans l'exposé des hypothèses et du discernement entre les éléments connus et ceux inconnus. Le contrôle des différentes phases se remarque sur le tableau des caractéristiques des actions, où les élèves ont admis la valeur du poids comme étant réaliste.

Si on considère la copie du binôme, annexe II (BEP 2002 / 2003), la seule copie qui fait référence au théorème des moments afin de déterminer le poids du système (les autres ont utilisé la valeur indiquée par le dynamomètre ou tout simplement inventé une valeur), on constate que la représentation du but n'est pas très nette (2 actions \vec{A} sur le bilan des forces). De plus la confusion est plus grande, car sur le bilan des forces sont représentés le dynamomètre et le solide. De même la détermination du poids obéit à la 'conduite de la balance' ou à la puissance de 'l'exemple'. S'y ajoute, l'idée qu'une force est un « poids » (*ce qui indique le dynamomètre est deux fois plus lourd ...*). Ce qui n'apparaît pas sur cette copie c'est le contrôle de chaque phase : on observe un début de planification (inventaire et caractéristique des forces) , une certaine anticipation du but à atteindre (le poids est de 0,665 N) ; par contre la représentation des forces ne transpose pas le choix des échelles et les valeurs des forces sont irréalistes par leur précision.

Le contrôle ou l'évaluation est un élément constitutif de l'action (rature sur une copie, ou plutôt le syndrome du 'crayon à papier', recommencer sur une nouvelle feuille ...). Cette instance évaluatrice présente en chacun de nous (enseignants, élèves) doit se construire de manière objective avec des critères déterminés. L'appropriation par les élèves d'outils d'évaluation cohérents et non empiriques, la maîtrise des opérations d'anticipation et de planification sont des éléments nécessaires à inclure dans nos objectifs pédagogiques.

La définition, simpliste, que nous avons de 'l'évaluation formatrice' est que l'évaluation peut faire partie des apprentissages ; c'est à dire que lors de l'évaluation les apprenants continuent à construire des savoir et savoir-faire. Mais les séances d'auto-correction , la remédiation par les élèves sur certains obstacles (en module ou aide individualisée) font partie de cette forme d'évaluation formatrice. Celle-ci est en fait un système pédagogique⁽²²⁾ qui prend en compte les théories de l'apprentissage, qui implique des critères soumis à des objectifs précis. Les bases de l'évaluation formatrice sont issue d'une recherche conduite dans les années 1974 – 1977 au lycée Marseilleveyre à Marseille, pilotée par J. J. Bonniol et G. Nunzati.

OBSTACLES ET REMÉDIATIONS

Cette approche pédagogique (Problématique - Débat – Modélisation – construction de la connaissance – Retour sur la problématique) a suscité des réactions diverses de la part des différentes classes.

L'approche ludique de la problématique a induit, d'abord, de l'étonnement de la part de toutes les classes citées. Le débat a permis d'instaurer "un doute", qui a été moteur pour les classes 1998 – 1999 et 2000 – 2001 , mais qui n'a pas eu le même effet sur la classe 2002 – 2003.

L'obstacle principal, est un "obstacle culturel" issu du modèle pédagogique par transmission, où les apprenants sont en attente ; alors que le modèle pédagogique "constructiviste" demande une réelle participation des élèves, sans instructions "apparentes" de la part de l'enseignant. Comme l'explique V. Host⁽¹²⁾, l'apprentissage par transmission est, souvent, intériorisé par

les élèves comme une relation d'autorité (parentale, pénale, intellectuelle ...). De plus, la relation maître – élève est vécue, par certains élèves, comme une relation de pouvoir ; les rôles joués par ces élèves dans leurs structures familiales et sociales (milieu d'origine) ne leur permettent pas de reconnaître la fonction que l'enseignant remplit vis à vis d'eux dans une situation donnée. Ce sont là des éléments qui expliqueraient, peut-être, le 'blocage' avec une majorité d'élèves de la classe 2002 – 2003 qui n'ont pas voulu revenir sur leurs mesures et les analyser. S'y rajoute l'effet "marché de dupes", cité précédemment : *L'enseignant connaît la réponse au problème, il finira par la donner.*

Néanmoins cette approche a permis à des classes "agitées" ou à des élèves en grandes difficultés de s'exprimer (de manière verbale et expérimentale), avec par moment des écueils attribués aux difficultés d'analyse et de synthèse dans la démarche scientifique. Mais ces dernières (analyse, synthèse) sont des compétences et des capacités à acquérir en cours de formation (et même après) ; le fait d'identifier ces difficultés permet à l'enseignant et à l'élève de mieux cerner les différents objectifs à atteindre.

Le second obstacle, de "l'expérience quotidienne" ou de "conduite de la balance", reste difficile à surmonter, car il est ancré dans la pratique quotidienne ou dans la mémoire collective (la balance électronique supplante la balance de Roberval). Mais il peut être contourné par une analogie avec la balance romaine où les distances par rapport à l'axe interviennent.

Par la suite, un "étayage" de la part de l'enseignant dans l'analyse des mesures (surtout avec la classe de BEP Bioservices) et une véritable curiosité (scientifique ou naturelle) de la part des élèves ont permis la construction du concept, afin de résoudre, surtout, le problème de 'Tintin et la poutre'. D'ailleurs cela s'est traduit dans l'évaluation formative et/ou formatrice par un investissement réel de la part des élèves.

- BEP électronique (98 – 99) : les élèves ont utilisé le quart d'heure de la récréation afin de finir l'évaluation.
- BEP électrotechnique (98 – 99) : Devant le manque de réussite, au départ, dans l'évaluation, les élèves ont demandé d'utiliser la deuxième heure de cours.
- BEP bioservices (200 – 2001) : Les élèves ont eu des difficultés, néanmoins ils se sont 'accrochés', avec une certaine réussite (mais avec des indications de l'enseignant sur la nécessité de prendre des mesures d'angles et de distances).

En définitif, certaines questions restent posées :

- A quel moment, malgré les indicateurs, l'enseignant doit-il renoncé à certaines approches pédagogiques ? Avant de le faire par déception, qui engendre certaines frustrations.
- Doit-il expliciter le contrat didactique, avec le risque que les élèves n'y participent que par nécessité scolaire ?
- A quel moment les élèves réalisent-ils qu'être partie prenante de leur apprentissage est un gage de réussite ... à long terme ?

CONCLUSION : ANALYSE DES PRATIQUES

L'analyse de nos pratiques professionnelles est une composante nécessaire dans la *construction* d'un enseignant. Elle existe, déjà, dans les débats avec nos collègues en salle des professeurs. De plus l'écriture permet à un acte isolé (intérieur) d'aller vers un espace extérieur : le lecteur *anonyme* ; donc une extériorisation, relative, de nos pratiques.

J Beillerot ⁽²⁰⁾ s'attarde sur l'expression 'analyse des pratiques professionnelles' : l'analyse implique une opération de fragmentation, elle induit la reconnaissance qu'un ensemble est constitué de parties identifiables, à l'inverse on ne peut admettre que le tout est, seulement, la somme de ses parties. Nos pratiques ayant une double dimension, d'un côté le langage, les conduites ... et de l'autre les stratégies, les règles et les idéologies invoquées, l'analyse ne permet pas la compréhension et l'interprétation des non-dit . Néanmoins, elle obéit à un principe : *« L'affirmation que le changement des conduites humaines implique la collaboration libre du sujet, ce qui n'exclut pas ses résistances ; que c'est par sa conscience, puis sa compréhension des situations et des phénomènes que le sujet accédera à une possible transformation ⁽²⁰⁾ »*. En cela l'analyse permet de compléter notre propre compréhension de nos pratiques pédagogiques, de construire une vision plus globale, même si l'analyse par autrui est nécessaire, comme l'explique M Berthelot ⁽²¹⁾ : *« En quoi le sens extérieurement importé par l'analyste est-il plus juste que celui exprimé par l'auteur ? ... A cet égard, il n'y a nulle part de texte vrai et le sens, même illusoire, donné par l'acteur a son histoire participe au plus profond de sa construction »*.

L'écriture peut être un moyen de revisiter son travail, avec un regard décalé. Elle est surtout une possibilité de mettre des mots (ou des concepts) sur une activité qui, par moment, peut-être intuitive ou subjective et sur les craintes de l'échec et les *doutes* d'un enseignant.

ANNEXE I copie (brouillon) d'un binôme, classe BEP électronique 1998 / 1999

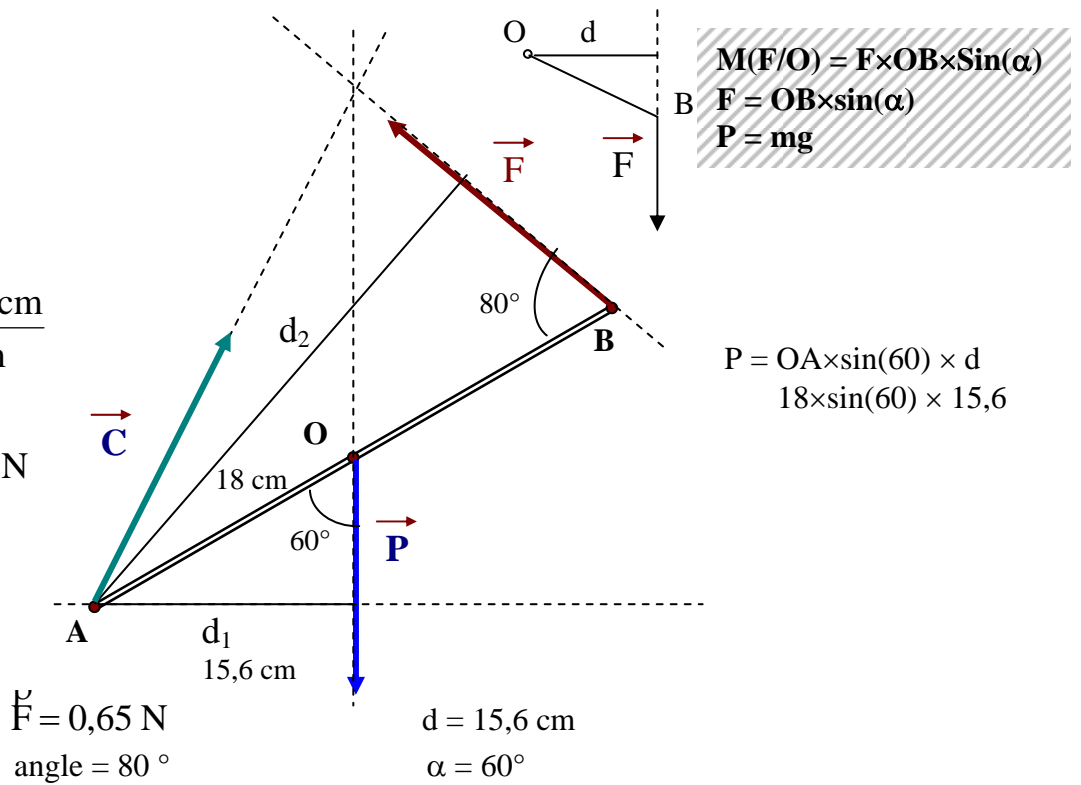
$$M(F_1/O) = M(F_2/O)$$

$$F_1 \cdot D_1 = F_2 \cdot D_2$$

$$P \cdot d_1 = F \cdot d_2$$

$$P = \frac{F \cdot d_2}{d_1} = \frac{0,65 \times 36 \text{ cm}}{15,6 \text{ cm}}$$

$$P = \frac{0,65 \times 0,36}{0,156} = 1,5 \text{ N}$$



On connaît :

- \vec{F} action du dynamomètre sur AB
- \vec{P} action de la terre sur AB

On ne connaît pas :

- \vec{C} action de l'axe sur AB

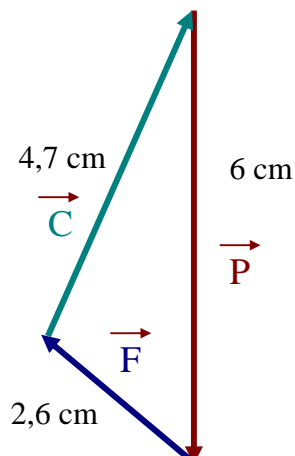
Bilan des actions connues

Force	Nature	Pt. d'application	Direction	sens	Intensité
\vec{F}	De contact ponctuel	B			0,65 N
\vec{P}	A distance répartie	O			1,5 N

Bilan des actions non connues

\vec{C}	De contact ponctuel	A			?
-----------	---------------------	---	--	--	---

Dynamique des forces
2 cm → 0,5 N



ANNEXE II : copie d'un binôme, classe BEP électronique 2002/ 2003

Action du dynamomètre sur la barre : \vec{D}

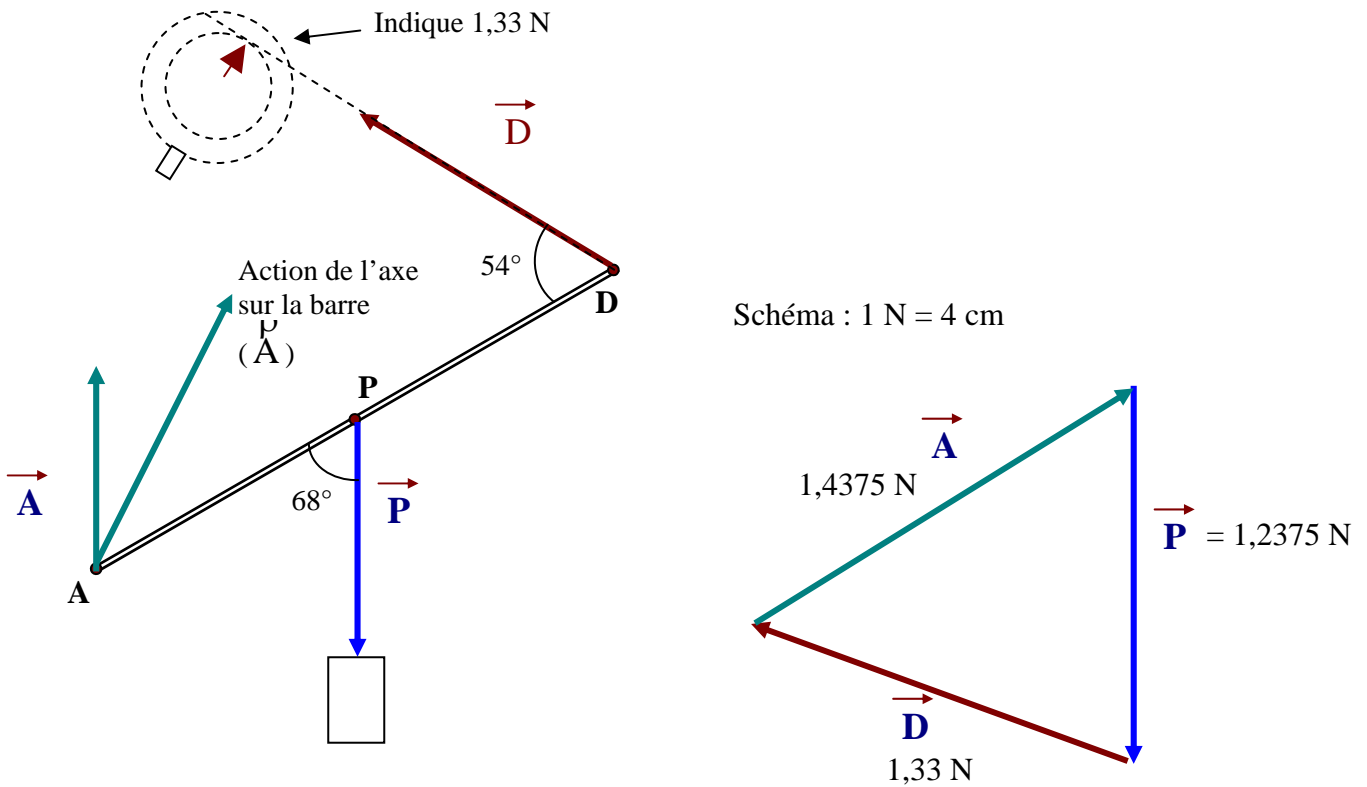
Action du poids sur la barre : \vec{P}

Action de l'axe sur la barre : \vec{A}

Force	Direction sens	Point d'application	Intensité
\vec{D}		Contact ponctuel	1,33 N
\vec{P}		Distance répartie	1,2375 N
\vec{A}		Distance répartie	1,4375 N

Donc comme P est milieu des points AD. Ce qui indique le dynamomètre est 2 fois plus lourd que le poids M, le poids est de 0,665 N

La barre exerce une force sur l'axe A



BIBLIOGRAPHIE

- (1) *Les Aventures de Tintin : Le mystère de la licorne*, Hergé Ed. CASTERMAN 1954
- (2) Article à paraître.
- (3) *The conditions of learning*, R. M. Gagné Ed. Holt, Richard and Winston. New York 1970
- (4) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*,
S. Johsua, J. J. Dupin. Ed PUF 1999
- (5) *Instructional Psychology*, L. Resnick. Learning Research and Development Center.
Univerty of Pittsburg. 1980
- (6) *Epistémologie*, G. Bachelard Ed. PUF 1980
- (7) *La physique en question : Mécanique*, J-M. Lévy-Leblond Ed VUIBERT 1998
- (8) *Comment les enfants apprennent les sciences*
J. P. Astolfi, B. Peterfalvi, A. Vérin, Ed RETZ 2001
- (9) *Le langage et la pensée chez l'enfant* J. Piaget, Ed DELACHAUX et NIESTLE 1923
- (10) *La formation professionnelle des enseignants* M. Altet, Ed PUF 1994
- (11) *L'œil, la main, la tête* J. P. Astolfi, LES CAHIERS PEDAGOGIQUES n° 409 2002
- (12) *Théories de l'apprentissage et didactique des sciences*, V. Host,
ANNALES DE DIDACTIQUE DES SCIENCES 1985, Université de ROUEN
- (13) *Le modèle en question*, A-M. Drouin, ASTER n°7 INRP 1988
- (14) *Gestion d'activités de modélisation en classe*, G. Lemeignan, A. Weil-Barais,
ASTER n°7 INRP 1988
- (15) *L'épistémologie*, A. Virieux-Reymond, Ed. PUF 1966
- (16) *La philosophie du non*, G. Bachelard, Ed PUF 1940
- (17) *L'expérimentation n'est pas la science*, C. Orange,
LES CAHIERS PEDAGOGIQUES, n°405, 2002
- (18) *Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice*, G. Nunziati,
LES CAHIERS PEDAGOGIQUES, n°280, 1990
- (19) *De l'enseignement programmé à la programmation de la connaissance*
Sous la direction de Talyzina, Ed PUF 1987
- (20) *Elément d'un cadre d'analyse des activités*, R. Savoyant,
CAHIERS DE PSYCHOLOGIE n° 22, 1979
- (21) *Contribution à l'étude des stratégies et de contrôle de l'action dans une situation d'évaluation des productions scolaires*, R. Amigues,
Thèse de 3^{ième} Cycle, Université de Provence 1982
- (22) *Déterminants et mécanismes des comportements d'évaluation d'épreuves scolaire*,
J. J. Bonniol, Thèse d'état Université de Bordeaux II 1981