

EQUILIBRE ET BALANCE EN CE2

*IREM de MONTPELLIER**

PRESENTATION

I – Durée de l'expérience

Du 21 avril au 26 juin inclus, tous les vendredis après-midi pendant une heure et demi environ dans chacune des deux classes de CE2. A chaque séance, un animateur et parfois deux animateurs de l'IREM participaient au travail de la classe. Cette expérience doit pouvoir être reproduite sans difficulté dans les conditions normales de fonctionnement d'une classe, avec un seul maître (à condition que le maître ait la possibilité de disposer du matériel d'expérimentation ou de le fabriquer).

II – But et objectifs de contenu

- Dégager la notion d'équilibre pour un corps "rectiligne" en rotation autour d'un axe horizontal (balançoire, fléau d'une balance).
- Etude quantitative à partir d'un appareil fourni à chaque groupe d'enfants ; pesées effectuées à l'aide de cet appareil, avec une unité de masse commune à toute la classe.
- Construction, par chaque enfant, d'une balance à plateaux suspendus ; utilisation de cette balance.

III – Méthode de travail

Les enfants travaillent par groupes de 4 à 6 élèves. Les groupes sont constitués pour toute la durée de l'expérience. Dans chaque groupe, à **tour de rôle**, un enfant est secrétaire, un autre chef de groupe. Le chef de groupe est chargé de lire les consignes, prêter attention à ce qu'elles soient observées et à ce que chacun expérimente à son tour. Le secrétaire note les résultats, rédige les remarques et fait les croquis ; à la fin de l'expérience, le tout est relié dans un cahier de groupe.

Très souvent, en cours de séance, une partie du temps est consacré à une discussion générale (synthèse, mise au point, débat autour d'une proposition de travail faite par un élève ou le maître ...).

IV – Principaux objectifs de méthode et de comportement

- Acquisition d'une méthode scientifique : expérimentations, observations ; formulation d'une hypothèse ; contrôle par de nouvelles expérimentations ou par la prise en compte des résultats obtenus par d'autres groupes ; utilisation et application.

(*) *Extrait de la brochure*

- Développement chez les enfants du goût du travail précis et soigné (équilibre des balances, fabrication des masses marquées, comptes-rendus d'expériences).

- Aspect social du travail en groupe : respecter le droit pour chacun d'expérimenter à son tour (la partie expérimentale n'étant pas ressentie comme un devoir, bien au contraire, les enfants ne sont pas enclins à accepter la situation – hélas fréquente lors d'un travail en groupe – dominants-dominés).

V – Matériel d'expérimentation

Voir schémas pages suivantes.

APPAREIL A

Fléau

Réalisé à partir de tasseaux en samba (section 10×40) refendus en leurs milieux (section 10×20) et coupés à 500 mm de long.

Axe de suspension

En métal d'apport pour soudure autogène de 2 mm de diamètre.

On peut aussi utiliser des points de menuisier ou de la corde à piano de diamètre équivalent. Longueur 50 mm environ.

On plante à intervalles réguliers (40 mm) des épingles de couturier sur le fléau. Les enfants disposeront d'un grand nombre d'anneaux, tous identiques, qui pourront être suspendus aux épingles.

Dispositif d'équilibrage à vide

Tige filetée (3 mm de diamètre) et écrou (on a intérêt à avoir les écrous les plus gros possibles).

Support

Fil de fer ou autre fil métallique mis en forme sur un gabarit de cintrage (voir schéma "gabarit de cintrage"). Longueur nécessaire pour chaque pièce : 250 mm environ.

Socle

Toute pièce de bois ou d'aggloméré sur laquelle on percera 4 trous permettant la mise en place des supports.

Anneaux

Il est nécessaire de disposer d'anneaux ayant tous la même masse ; nous avons acheté (assez cher) des rondelles éventail.

Remarque

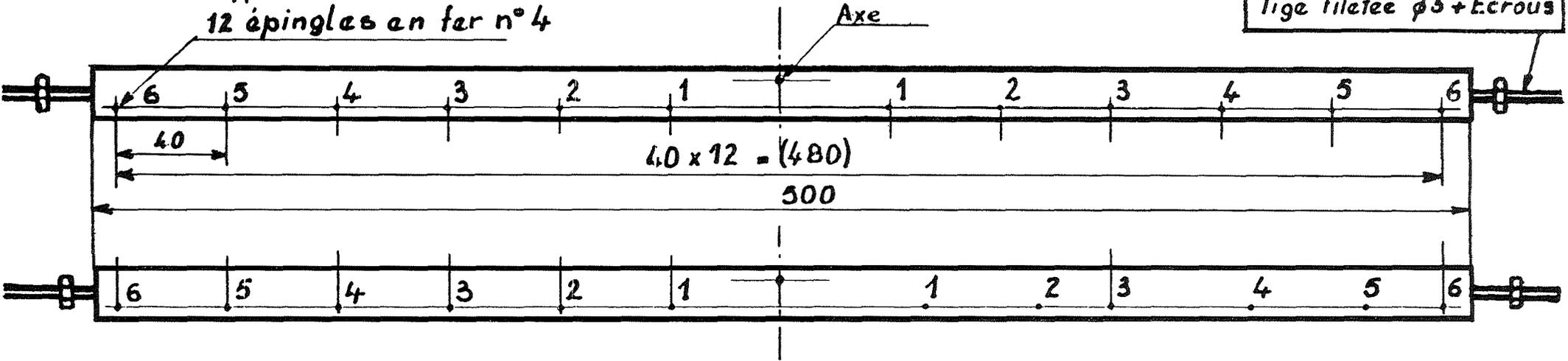
Les chiffres correspondant aux épingles sont marqués, sur le fléau, en rouge côté gauche, en vert côté droit. Ce codage gauche-droite par des couleurs (utilisé d'ailleurs en CP) facilitera la communication.

MATERIEL D'EXPERIMENTATION

Fléau de l'appareil A
12 épingles en fer n°4

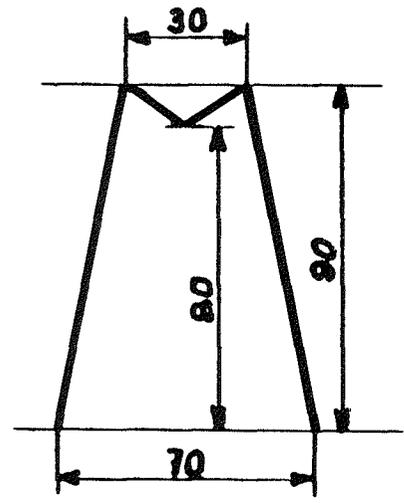
Ech : 0.5

Systeme d'équilibrage
à vide :
Tige filetée $\phi 3$ + Ecrous

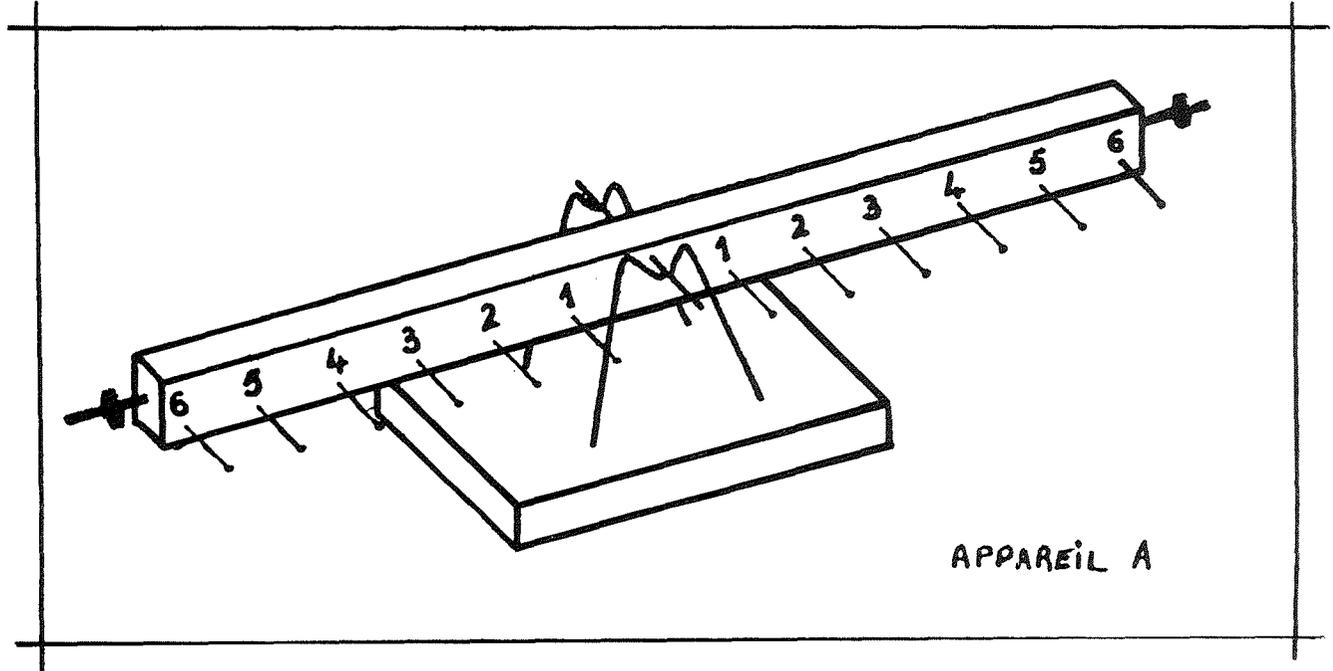


Fléau de l'appareil B

33



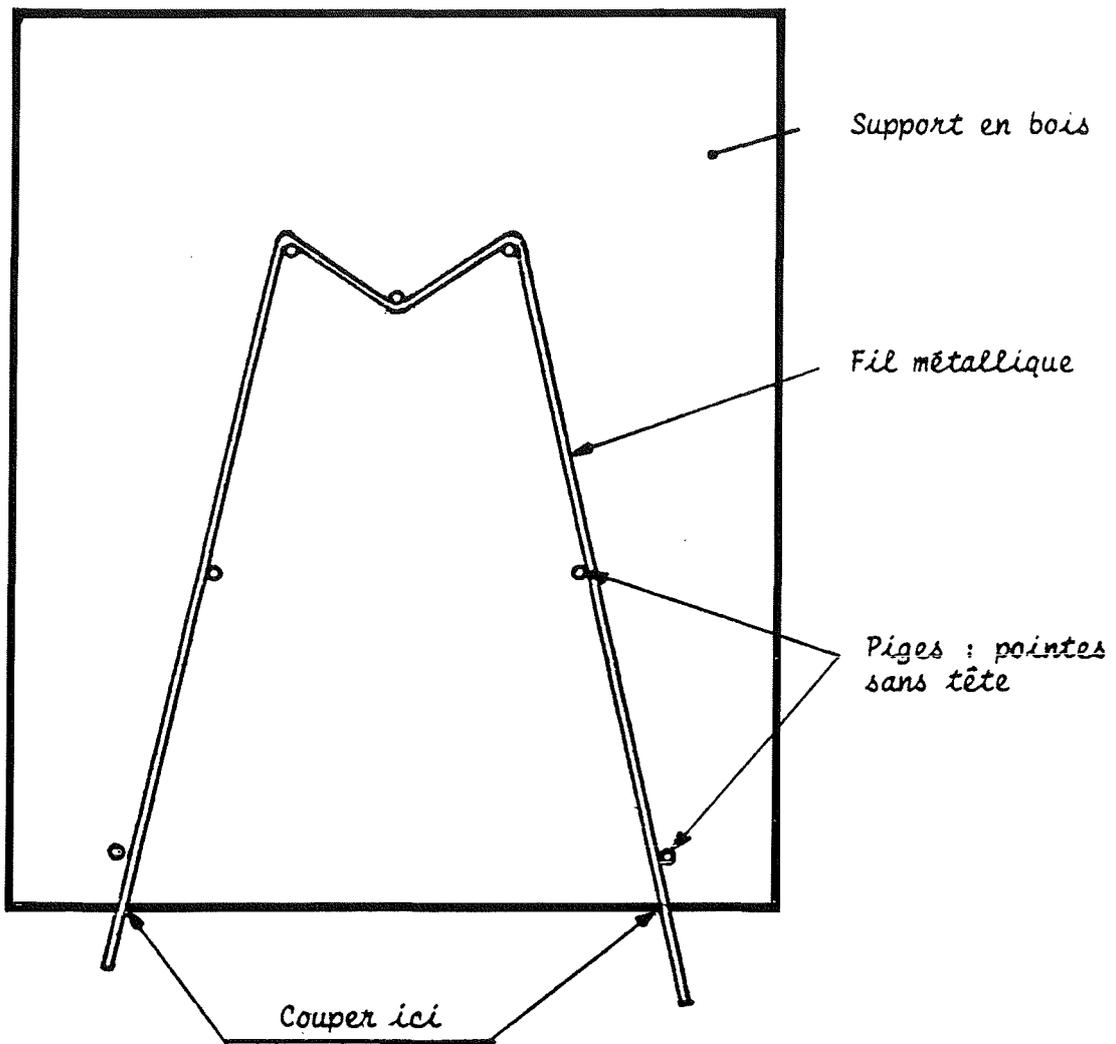
Support Ech: 0.5



APPAREIL A

GABARIT DE CINTRAGE DES SUPPORTS

Ech : 1



APPAREIL B

La seule différence avec l'appareil A réside dans l'espacement des épingles sur le côté droit du fléau (voir schéma comparatif des deux fléaux "Matériel d'expérimentation")

Le prix de revient de l'expérience est relativement modeste : de l'ordre de 80 F pour le matériel d'expérimentation utilisé dans les deux classes; les balances à plateaux suspendus fabriquées par les enfants reviennent environ à 3 F pièce.

DEROULEMENT DE L'EXPERIENCE

SEANCE 1

Elle se passe en partie dans la cour ; il s'y trouve un petit mur, haut d'une soixantaine de centimètres, dont la partie supérieure est arrondie. Les enfants sont divisés en deux groupes : un groupe dispose d'une poutre en bois, l'autre d'une échelle métallique à côtés parallèles ; vers le milieu de la séance, les groupes échangent poutre et échelle. Activités libres ; les enfants font leurs observations à haute voix ; le mot équilibre est tout de suite prononcé ; discussion très riche ; voici quelques exemples de remarques faites par des enfants :

- "C'est plus facile de retrouver un équilibre horizontal qu'un équilibre penché".
- "Ça penche du côté de l'enfant le plus lourd".
- "Plus on est lourd, plus on doit se rapprocher du mur".

A noter que la notion d'équilibre, dans une telle situation, est immédiatement reliée à la masse (ou au poids ?... *) des objets posés sur la poutre ou l'échelle. Ensuite, en classe, chaque enfant rédige et dessine ses observations (voir ci-dessous)

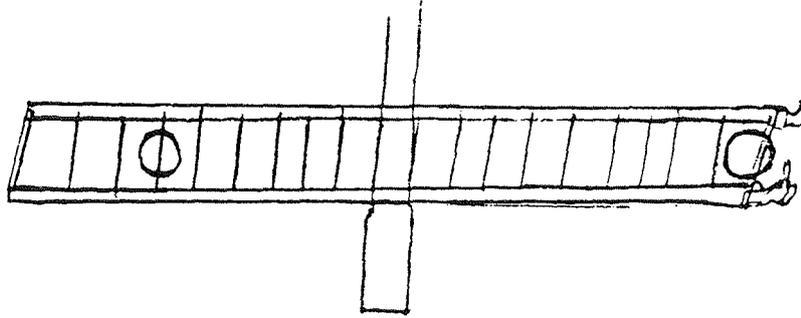
SEANCE II

Elle commence par un entretien autour du mot équilibre. Nous regrettons de ne pas avoir enregistré au magnétophone les remarques faites dans la cours lors de la première séance ; cela aurait donné plus d'intérêt à l'entretien.

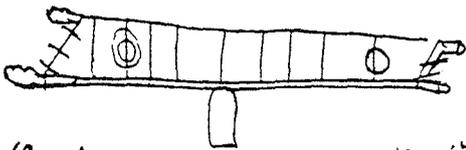
Nous donnons ensuite un appareil A à chaque groupe d'enfants. L'intérêt des enfants est très vif ; l'analogie de situation avec la planche et le mur est immédiatement saisie. Ils ont à leur disposition les anneaux et des objets en fer et en bois (percés de trous, de telle sorte qu'on puisse les suspendre aux épingles) dont la masse est multiple de la masse d'un anneau. Activités libres. La seule consigne est de préciser les observations à l'aide de dessins. Vous trouverez plus loin quelques exemples.

(*) Lire en annexe 7 "Masse-poids-mesure"

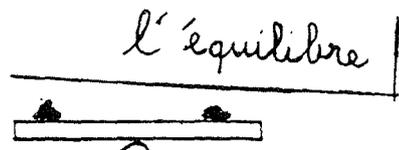
Quelques exemples de dessins et commentaires (1ère séance) :



On a mis un élève sur le premier barreau et un ou un élève au quatrième barreau et on a vu que ça penche du côté de l'élève qui était sur le premier



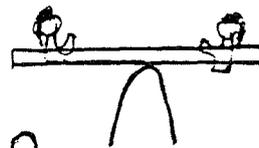
Le plus gros se met au troisième barreau en partant du milieu et le plus léger se met au quatrième barreau en partant du milieu et ça fait l'équilibre



On mettait des graviers des deux côtés pour faire l'équilibre

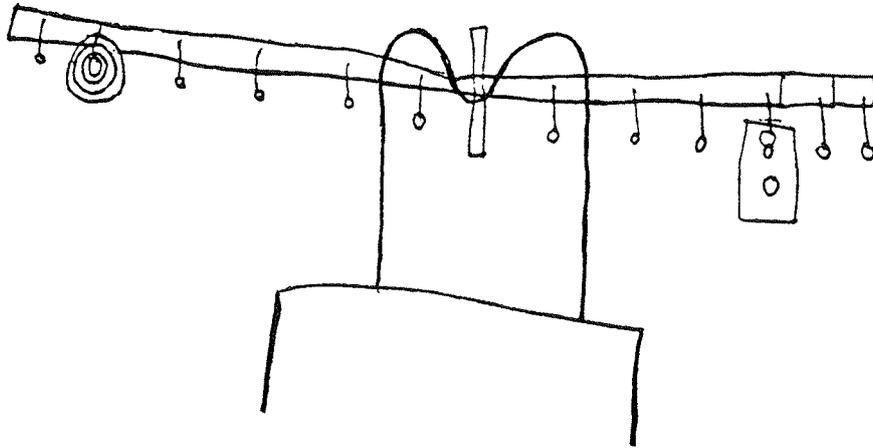


pour faire l'équilibre on met la planche d'un côté plus long et de l'autre côté plus court et on met deux enfants du côté le plus long et trois enfants du côté le plus court

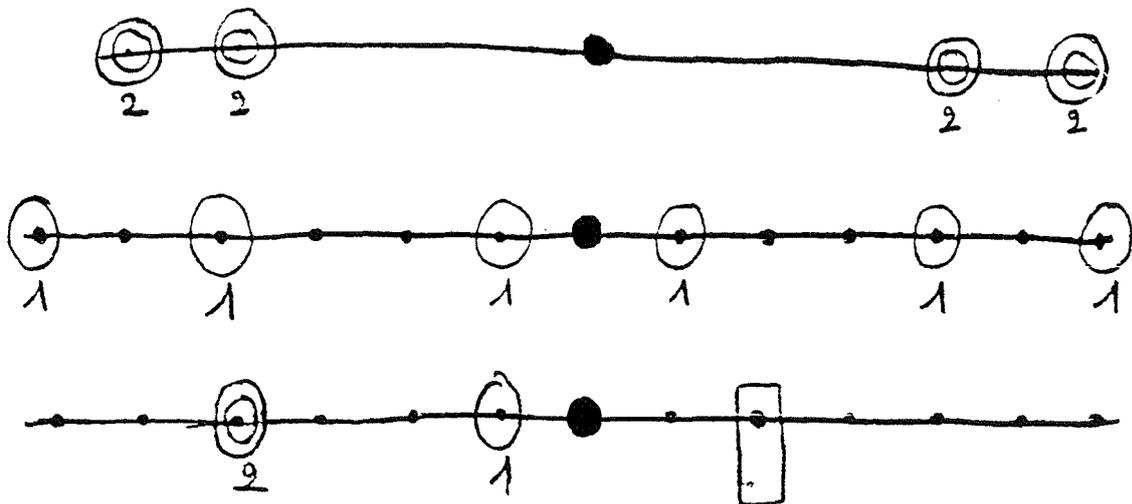


On a mis deux élèves du même poids de chaque côté de la planche ce qui a fait l'équilibre

Quelques exemples de dessins et commentaires (2ème séance)



pour faire l'équilibre on met 4 anneaux à la cinquième épingle en partant du milieu et la plaque de fer de l'autre côté sur la quatrième épingle en partant du milieu.



Cette séance d'activités libres nous a paru nécessaire pour de multiples raisons ; en particulier pour :

- ne pas priver les enfants de la joie d'utiliser l'appareil selon leur fantaisie, sans consigne, sinon de ne rien casser ! on constate d'ailleurs que très rapidement ils se donnent eux-mêmes les objectifs (réaliser des équilibres par exemple) ;
- leur permettre ainsi de prendre l'appareil en main ; de faire toute une série de remarques préalables, parfois non explicitées, mais très utiles pour la suite.

Nous notons que les enfants se servent de cet appareil pour comparer des masses (plus lourd, moins lourd, pareils lourds).

SEANCES III – IV – V

But

Trouver une formulation de la loi de l'équilibre pour l'appareil A. Nous entendons par là : n étant le nombre d'anneaux suspendus au clou rouge, a et m le nombre d'anneaux suspendus au clou vert b , le fléau est en équilibre si et seulement si $a \times n = b \times m$.

Sur les deux classes, un seul groupe a trouvé au cours de la quatrième séance, plusieurs groupes au cours de la cinquième séance ; durant la sixième séance nous avons proposé à ces groupes un exercice plus difficile (voir en annexe 6) qu'ils ont en général mené à bien ; cela nous a permis de nous consacrer aux groupes ayant encore des difficultés de formation. En annexes 1 à 6 vous trouverez tous les exercices dans l'ordre dans lequel ils étaient proposés aux enfants.

Remarques

- Les enfants ont du mal à bien formuler la loi (ceci ne nous a d'ailleurs pas étonnés) ; l'exemple que nous vous donnons en annexe 5 est un des meilleurs. Nous n'avons pas cru utile d'insister pour avoir des formulations très complètes dans chaque groupe, ni pour avoir une formulation écrite commune à toute la classe (mais, après une discussion générale, il y a eu accord de toute la classe sur un énoncé formulé par un des élèves) ; par ailleurs, l'exercice de l'annexe 4 et celui de l'annexe 5 nous ont permis de constater que tous les enfants avaient très bien compris la loi, même s'ils avaient du mal à l'énoncer.
- Les enfants se sont montrés très actifs et très intéressés durant cette phase de travail qui, a priori, peut paraître un peu ardue.
- Il est important de noter que ces exercices fournissent une occasion d'effectuer des multiplications, de chercher les diviseurs d'un nombre entier.

SEANCE VI

But

Montrer aux enfants que la loi, telle que nous l'avons énoncée, n'est valable que si les clous sont régulièrement plantés sur le fléau ; autrement dit que, en fait, c'est la distance pivot-clou qui intervient.

Déroulement

On donne un appareil A et un appareil B par groupe d'enfants. On leur demande de

vérifier la loi ; l'enfant qui expérimente sur l'appareil B, commence en général par être accusé de maladresse par ses camarades ! après quelques essais, ils constatent que la loi ne marche que pour un seul appareil ; ils discutent, comparent les fléaux et concluent facilement.

Remarque

Sur l'appareil B, le clou vert 3 (resp. : 6) est à la même distance du pivot que le clou rouge 3 (resp. : 6) ; dans tous les groupes on a constaté que, si du côté vert on n'utilise que les clous 3 et 6, la loi (telle qu'elle a été énoncée) marche ; en particulier, les enfants remarquent que cet appareil peut facilement servir à peser à condition de ne se servir que des clous 6 (ou des clous 3).

SEANCE VII

- Les consignes, pour cette séance, ont été dégagées en classe, avec les élèves, au cours d'une discussion en fin de sixième séance. Il s'agit de déterminer à l'aide de l'appareil A, la masse des objets en bois ou en fer utilisés pendant la deuxième séance (en prenant comme unité de masse, la masse d'un anneau).

Parmi les objets que nous mettons à la disposition des enfants, certains ont des masses qui ne sont pas multiples de la masse d'un anneau ; d'eux-mêmes, ils donnent un encadrement de leurs masses.

- Les enfants sont évidemment tentés de déterminer la masse d'objets (gommes, crayons, etc...) qui ne peuvent être suspendus aux clous ; nous les laissons faire ; ils constatent évidemment que l'appareil A n'est pas adapté à leur projet ; une discussion s'engage sur les modifications que l'on pourrait apporter à cet appareil pour en faire une balance (deux clous symétriques par rapport à l'axe suffisent ; il faut des plateaux, etc...)

- Ensuite, le maître propose qu'au cours des prochaines séances, chaque élève construise sa propre balance (proposition accueillie avec enthousiasme !).

SEANCES VIII – IX : réalisation des balances et des masses marquées

Description de la balance

Fléau

En samba, longueur 300 mm, percé d'un trou pour le passage de l'axe (clou de menuisier) ; à chaque extrémité, un piton auquel on suspendra un plateau.

Support

Deux supports semblables à ceux du matériel d'expérimentation.

Socle

Flacon métallique ayant contenu du sirop alimentaire (on enlève le côté bec verseur). Les flacons sont lestés à l'aide de sacs de sable, fermés par un bouchon épais en polystyrène sur lequel on pique les deux supports en fil métallique.

Plateaux

Emballages en plastique dur ou en métal (boîtes de pâté, desserts glacés, etc...). Le maître perce chaque plateau de 3 trous à l'aide d'une pointe chauffée. La suspension est assurée par 3 morceaux de fil de cuivre fin (récupération câble de réseau téléphonique) et un petit anneau en fil de cuivre. Nous vous signalons une astuce permettant de réaliser facilement des

anneaux : enrouler du fil de cuivre moyen autour d'un crayon, sectionner chaque spire à l'aide d'une pince coupante.

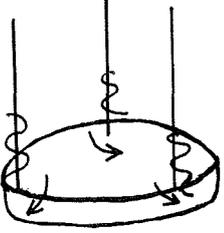


Déroulement

Les enfants ont apporté les flacons de sirop et les plateaux. Chaque enfant dispose d'un fléau, d'une pointe de menuisier, de deux pitons, de deux anneaux en cuivre, de fil de cuivre fin. Il y a 4 ateliers dans la classe : un atelier pour la fabrication des fléaux, un pour les supports, un pour les socles, un pour les plateaux. Les enfants passent à tour de rôle dans les ateliers, l'ordre de passage étant indifférent. Les consignes sont analysées et discutées en commun, puis affichées dans la classe (beaucoup de schémas de grande dimension, en plusieurs couleurs). Voici, à titre d'exemple, les consignes relatives à l'atelier plateaux.

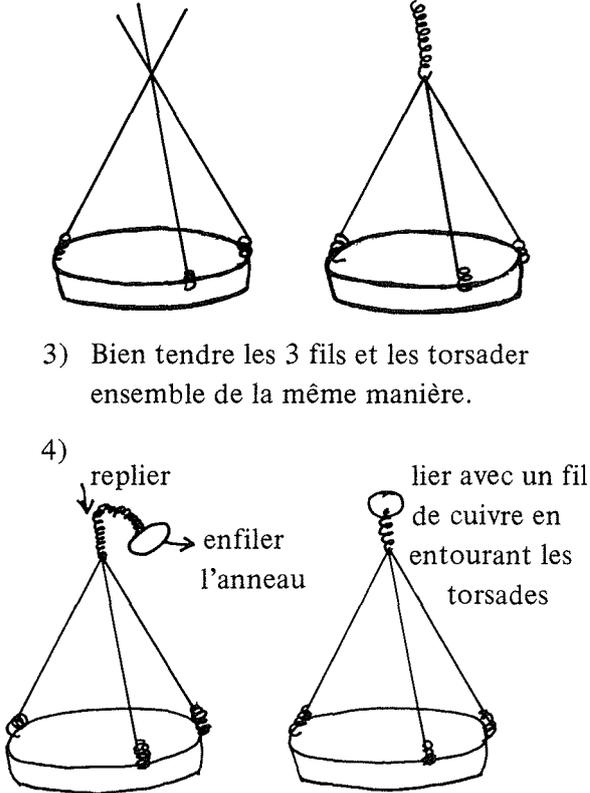
Pour suspendre les plateaux

- 1) Coupez 6 morceaux de fil de téléphone de 20 cm de longueur.
- 2) Chaque plateau a trois trous. Enfilez un fil dans chaque trou. Repliez chaque fil et fermez en torsadant.



Pour torsader, il faut tenir le fil d'une main et tourner le plateau avec l'autre main.

- 3) Bien tendre les 3 fils et les torsader ensemble de la même manière.
- 4) replier → enfiler l'anneau → lier avec un fil de cuivre en entourant les torsades



Les socles et les plateaux sont décorés, les balances équilibrées (chaque enfant équilibre sa balance comme il l'entend (lestage d'un plateau, d'un bras de fléau, etc...)).

Masses marquées

Pendant l'horaire de mathématiques (en s'appuyant d'ailleurs en partie sur cette expérience) l'unité légale de masse a été introduite. Après discussion, les enfants conviennent que l'utilisation des anneaux comme unité de masse ne présente que peu d'intérêt avec cette balance. Ils fabriquent des masses marquées de 20 g, 50 g, 100 g, en utilisant des tubes de médicaments et du sable. Nous leur fournissons ensuite des rectangles découpés dans du carton fort dont les masses sont 1 g, 2 g, 5 g, 10 g (la fin de l'année scolaire étant proche, il nous fallait aller vite ; nous n'avons pas trouvé de solution rapide leur permettant de fabriquer eux-mêmes ces dernières masses marquées).

SEANCE X : utilisation de la balance

- Avant de les emporter chez eux, les enfants utilisent leur balance et leur boîte de masses marquées personnelles. Certains nous demandent des demi-grammes (nous ne l'avions pas prévu, pourtant ceci n'est guère surprenant : ces balances sont très sensibles) ; un débat intéressant s'engage ; les élèves décident de couper des cartons de 1 g en deux. On les laisse faire ; dans un premier temps, la plupart d'entre eux coupent sans précaution ; certains se retrouvent avec deux morceaux de carton visiblement très différents ; ils vérifient d'ailleurs qu'ils ne donnent pas l'équilibre si on les place dans les deux plateaux d'une balance. Le débat reprend, la classe décide alors de procéder plus méthodiquement pour effectuer le découpage (prendre les mesures du rectangle de carton, etc...).

- Nous avons regretté de ne pouvoir consacrer une autre séance à l'utilisation de cette balance ; en effet, la situation est suffisamment riche pour que d'autres problèmes intéressants aient été soulevés par la classe.

Remarque

Nous avons laissé dans la classe, à la libre disposition des enfants, une balance Roberval et une boîte de masses marquées. Beaucoup d'enfants contrôlent, au moins au début, leurs résultats à la Roberval. Nous voyons à ceci plusieurs raisons, notamment :

- à un âge où les notions (qui vont de pair) de masse et de mesure de masse sont en cours d'acquisition, la possibilité de disposer de deux appareils de mesure différents (bien que fonctionnant sur le même principe) doit, en quelque sorte, accréditer ces notions aux yeux des enfants.
- certains enfants manquent a priori de confiance dans les objets techniques qu'ils fabriquent eux-mêmes (très certainement parce qu'ils ont peu d'occasions d'en fabriquer). La Roberval sert d'appareil de référence et les aide à prendre confiance dans leur propre appareil.

QUELQUES CONCLUSIONS

Cette expérience nous paraît particulièrement intéressante. En particulier :

– elle permet aux enfants d’aborder la notion de masse et de mesure de masse de façon active ;

– elle permet d’utiliser de façon très motivée des connaissances mathématiques (multiplication, diviseurs d’un nombre) ;

– elle devrait les aider à analyser un bon nombre de ”situations” mécaniques que l’on rencontre dans la vie courante. (En effet, si nous pensons que les enfants oublieront très vite la formulation de la loi de l’équilibre, il nous semble au contraire que les résultats qualitatifs et la démarche utilisés resteront présents à leur esprit).

ANNEXE 1

Date : _____

Groupe : _____

Chef de groupe : _____

Secrétaire : _____

1ère expérience

- le côté "rouge" est à "gauche"
- le côté "vert" est à "droite"

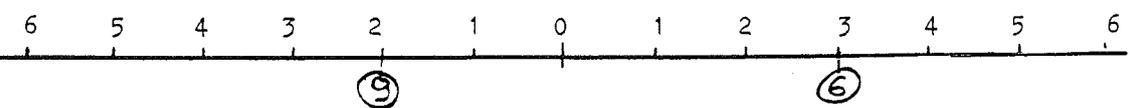
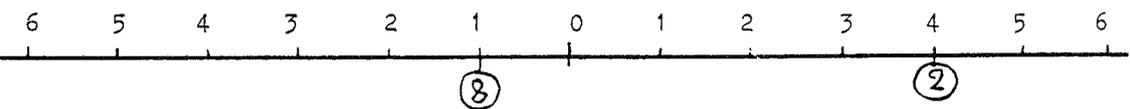
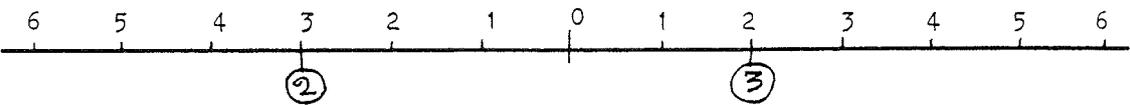
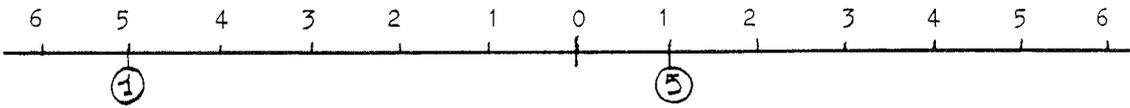
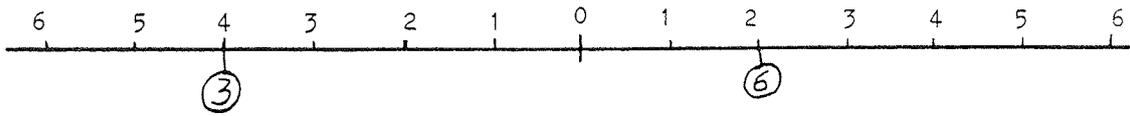
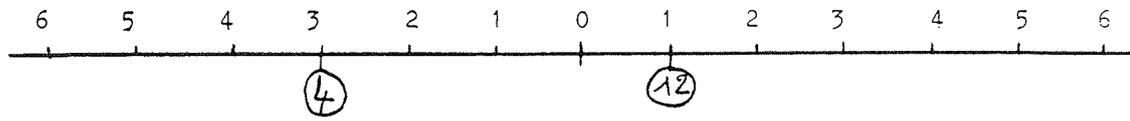
- Dans cette expérience, il faut utiliser un seul des clous de gauche et un seul des clous de droite.
- Réaliser des équilibres avec les anneaux (libre).
- Lorsqu'un équilibre est réalisé, noter le résultat sur la feuille polycopiée.

Par exemple :

Si vous obtenez un équilibre en mettant du côté gauche 6 anneaux sur le clou 3, et du côté droit 9 anneaux sur le clou 2, vous indiquez :

$$(\textcircled{6} ; 3) \iff (\textcircled{9} ; 2)$$

ANNEXE 2



ANNEXE 3

Date : _____

Groupe : _____

Chef de groupe : _____

Secrétaire : _____

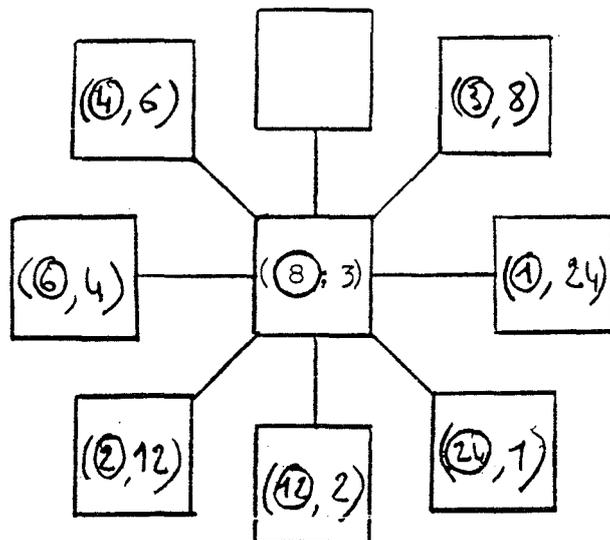
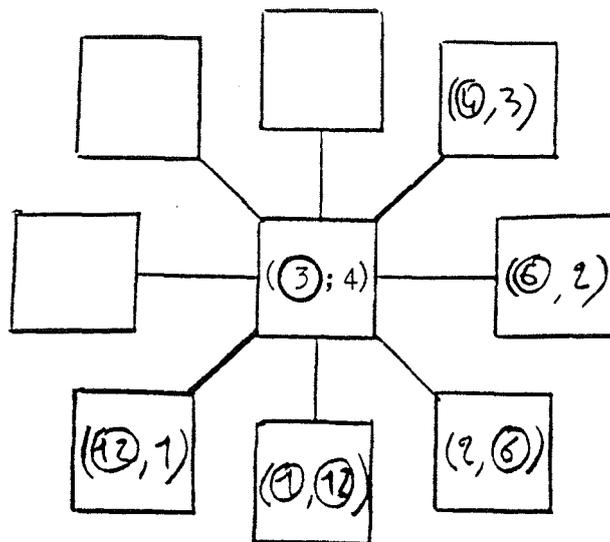
Suite de la 1ère expérience

Compléter le tableau d'après les résultats trouvés lors de la 1ère expérience.

$(4, 3)$	\longleftrightarrow	$(12, 1)$
$(3, 4)$	\longleftrightarrow	$(6, 2)$
$(12, 1)$	\longleftrightarrow	$(12, 1)$
$(5, 1)$	\longleftrightarrow	$(1, 5)$
$(5, 3)$	\longleftrightarrow	$(3, 5)$
$(2, 3)$	\longleftrightarrow	$(3, 2)$
$(2, 3)$	\longleftrightarrow	$(6, 1)$
$(2, 3)$	\longleftrightarrow	$(1, 6)$
$(7, 8)$	\longleftrightarrow	$(8, 1)$
$(8, 1)$	\longleftrightarrow	$(9, 2)$
$(8, 1)$	\longleftrightarrow	$(2, 4)$

ANNEXE 4

Remarque : Les consignes ont été données oralement pour cet exercice. Il s'agit de trouver toutes les possibilités d'équilibrer par exemple 3 anneaux sur le clou 4 sans faire d'expérience. On peut ensuite vérifier en expérimentant que l'on ne s'est pas trompé.



ANNEXE 5

Date : _____

Groupe : _____

Chef de groupe : _____

Secrétaire : _____

1) Énoncez la loi de l'équilibre telle que vous l'avez trouvée :

Pour faire l'équilibre sans jamais se tromper. Il
faut dire : quand on met 3 anneaux sur le clou à gauche :
 $3 \times 8 = 24$, de l'autre côté il faut mettre 4 anneaux
sur le clou six parce que $6 \times 4 = 24$

2) Exercice : complétez

On n'utilise qu'un seul clou à gauche avec 12 anneaux sur le clou 1
 et un seul clou à droite à chaque équilibre.

$$(\textcircled{12}, 1) \iff (\textcircled{3}, 4)$$

$$(\textcircled{12}, 1) \iff (\textcircled{4}, 3)$$

$$(\textcircled{12}, 1) \iff (\textcircled{1}, 12)$$

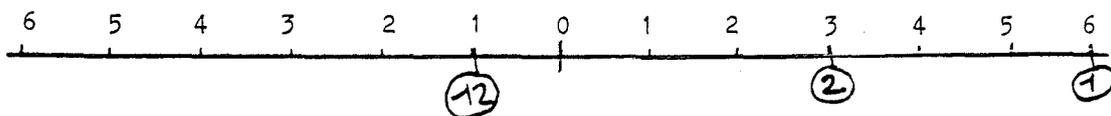
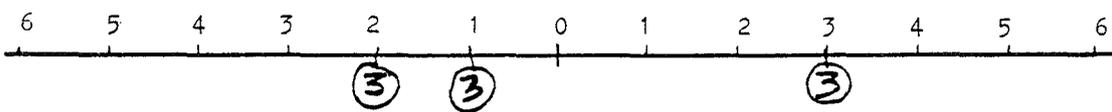
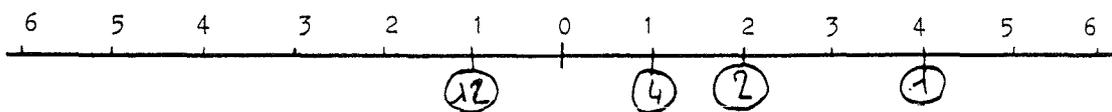
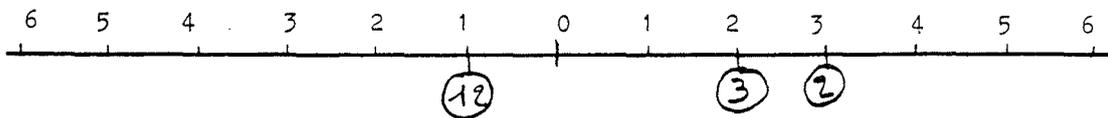
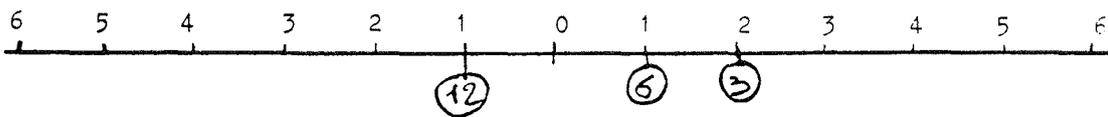
$$(\textcircled{12}, 1) \iff (\textcircled{2}, 6)$$

$$(\textcircled{12}, 1) \iff (\textcircled{6}, 2)$$

ANNEXE 6

Exercice

Il faut toujours trouver l'équilibre en ayant 12 anneaux sur le clou 1 à gauche, mais pour cette expérience, vous devez utiliser **plus d'un clou à droite**. Noter vos résultats.



Ces mots, comme chacun sait, sont remplis de pièges. Je ne veux pas entrer dans la polémique qu'entretiennent certains mathématiciens, physiciens et autres spécialistes. Toutefois, nous sommes amenés à utiliser fréquemment ces mots pour désigner des notions qui sont fondamentales. Je voudrais donc apporter quelques précisions sur notre point de vue et poser quelques points d'interrogations.

La masse et le poids

Le poids est une notion prohibée jusqu'à la classe de 3ème. On peut en conclure (hâtivement car le problème de vocabulaire n'est pas si simple) que le mot poids doit être pros- crit du vocabulaire (au moins scolaire) des enfants de moins de 14 ans.

Mais, sommes-nous sûr que le concept de masse soit différencié chez les enfants, du concept de poids ? Par curiosité, je me suis livrée auprès d'adultes cultivés, à une petite en- quête ; la plupart d'entre eux m'ont avoué "la masse et le poids, je sais bien que ça n'est pas la même chose, mais je ne me rappelle plus la différence". Cela donne à réfléchir...

La balance

La balance est un instrument merveilleux et je souhaiterais que tous les petits en- fants aient une Roberval dans leur soulier de Noël.

Mais, dans la compréhension de l'utilisation de la balance, quelle est la notion sous-jacente ? Il me semble que c'est celle du poids (déséquilibre, plus lourd moins lourd au sens de plus pesant moins pesant ; équilibre, statique, forces). Or, à quoi sert la balance ? A déterminer des masses. On a l'impression que cet appareil si sympathique sert en quelque sorte d'alibi pour une entourloupette : "vous pensez poids ... et vous dites masse". Les arguments que l'on pourrait donner pour se justifier ne sont pas si simples ; ils sont notamment interdits en classe de sixième par le programme officiel de sciences physiques de cette classe ... Là aussi, le problème est complexe car les moyens dont on dispose pour se "libérer" de l'attraction terres- tre sont artificiels (je pense en particulier aux tables et bancs à coussin d'air utilisés en classe de seconde).

La mesure

Différentes formalisations de la notion de mesure sont évidemment possibles. On connaît les "grandeurs mesurables" du physicien ; pour le mathématicien, la mesure d'une grandeur physique s'entend au sens de fonction (ici, application de l'ensemble structuré des masses dans \mathbb{R}^+ , possédant certaines propriétés). Le problème pédagogique ne se situe pas à ce niveau : l'enfant construit son propre modèle, par tâtonnements successifs et il est peu proba- ble que ce modèle coïncide avec celui du mathématicien ou du physicien. Nous avons pu obser- ver les enfants sur ce sujet au cours de l'expérience sur des verres gradués. Il nous semble que l'enfant induit progressivement sur l'ensemble des masses, l'addition qu'il pratique dans \mathbb{N} . Mais, il semble ne le faire qu'au fur et à mesure des nécessités expérimentales, sans se laisser emporter par des mécanismes ; ceci doit d'ailleurs lui permettre d'affiner le contenu qu'il donne au concept de masse.

