

TESTS D'HYPOTHESES ET MESURES AU CM1

Yves FLANDE
IUFM du Limousin - LDSP

Introduction

Les deux séquences suivantes peuvent être traitées séparément mais il vaut mieux avoir traité la première avant de réaliser la seconde. Ces deux séquences ont été réalisées plusieurs fois en CM1. Elles demandent de la part des élèves des efforts d'analyse, d'autocritique et d'abstraction qu'il paraît difficile d'exiger avant.

La première séquence est axée sur **la mesure** de façon à faire prendre conscience aux élèves qu'un mesurage, voire plusieurs ne peuvent pas donner la « bonne » mesure d'une grandeur alors que les enfants pensent que la « bonne » mesure existe et qu'il suffit de mesurer une seule fois pour l'obtenir, ceci induisant un seul et unique mesurage. Pour arriver à notre objectif nous avons fait mesurer une grandeur réputée être constante pour tous les élèves, en l'occurrence il s'agit de la période fournie par un métronome mécanique.

La seconde séquence vise à mettre en place la planification d'expériences **pour les tests d'hypothèses** dans le cas où l'on veut savoir si tel ou tel facteur a une influence sur un phénomène. Le phénomène considéré s'avère être la période d'un pendule.

Ces deux types d'activités se retrouvent dans les propositions des nouveaux programmes.

Séquence sur le métronome

Cette séquence s'est déroulée en deux séances d'une quarantaine de minutes chacune.

Matériel : un ou plusieurs métronomes mécaniques, 5 ou 6 chronomètres.

Déroulement possible

En classe entière : présentation du métronome.

Il y a toujours des enfants qui font de la musique et qui connaissent cet appareil. Ils savent qu'il permet de battre régulièrement la mesure. Il y a donc un consensus pour affirmer que les battements sont réguliers ou ont tous la même durée.

Diverses manipulations permettent de trouver la relation entre la position de la masselotte et la rapidité du tempo.

Chronométrage :

Pour amener le mesurage, on peut demander aux enfants d'estimer la durée entre deux battements et devant la diversité des réponses leur proposer de chronométrer (ou leur faire trouver que l'on peut chronométrer) pour chercher cette durée.

Ce chronométrage peut être réalisé par groupes de 5 ou 6 élèves mesurant en même temps. Tous les élèves effectuent des mesures.

On peut, si les locaux s'y prêtent, réaliser ce travail par groupes mais la présence du maître est nécessaire, au moins dans un premier temps, pour apprécier les difficultés des élèves et leur faire trouver des solutions.

Les élèves effectuent les chronométrages et constatent que les résultats sont différents. Ils recommencent alors pour vérifier lequel a la « bonne » mesure et trouvent une mesure encore différente.

Ils constatent alors qu'ils ne peuvent choisir une mesure parmi les autres et le maître peut introduire deux notions pour présenter les résultats si les enfants ne les connaissent pas : la notion d'encadrement ou la notion de moyenne.

Commentaires

Mesurer une durée motive davantage les élèves que, par exemple, mesurer une longueur comme celle d'une table et a l'avantage de permettre d'obtenir des résultats différents ce qui n'est pas souvent le cas avec les instruments de mesure utilisés dans les classes.

Dans l'activité de chronométrages deux métronomes trop proches l'un de l'autre gênent les activités de mesurage.

Les élèves proposent en général de prendre un tempo lent pour pouvoir chronométrer plus facilement. De même ils envisagent rapidement de mesurer la durée de plusieurs battements, (souvent 5 ou 10) plutôt que la durée d'un seul.

Malgré cela un apprentissage s'avère nécessaire car les élèves ont des difficultés à gérer à la fois chronomètre et métronome : mauvaise synchronisation entre le début de la durée et le lancement du chronomètre ainsi qu'entre la fin de cette durée et l'arrêt du chronométrage. De même les erreurs de comptage sont nombreuses (départ à 1 au lieu de 0, lecture de 10 secondes au lieu de compter 10 battements...)

Dans les classes observées les élèves, à partir du matériel proposé - métronome et chronomètre - ont élaboré la consigne : « *mesurer la durée d'un battement puis mesurer dix ou quinze allers et retours* ». De même ils ont recherché le protocole le plus efficace possible en devançant parfois certaines difficultés inhérentes au mesurage : « *si on réagit pas tout de suite, ça fait quelques secondes – il faut pas chercher les boutons* ». L'enseignant a précisé l'objectif recherché : « *au bout de la séance, chacun d'entre-vous doit être capable d'être un bon chronométrateur* ».

Plusieurs élèves ont mesuré simultanément. A l'annonce des résultats, toute la classe a constaté que chacun des élèves obtenait un résultat différent de celui de son voisin. Recommencant la mesure, chacun s'est aperçu qu'il obtenait une mesure différente de la précédente.

Les remises en cause sont nombreuses

Nic : j'appuyais pas au bon moment

E : il disait zéro, mais il partait après avoir dit zéro.

M : il faut que ça soit fait en même temps

E' : Julien, il faisait partir le chrono, mais il comptait aucun temps

Paul : moi j'ai eu des problèmes pour éteindre le chrono'

Après plusieurs essais destinés à éliminer les mauvaises synchronisations ou les erreurs de comptage, les élèves se sont aperçus malgré tout que, avec un phénomène considéré par tous comme constant, les deux, trois, voire quatre mesures effectuées par des élèves différents mais aussi par le même élève donnaient des résultats différents même si ceux-ci étaient proches.

M : qu'est ce que ça a donné au niveau des durées pour le groupe ?

Paul : 13,18 ; 13,62, 15,61 ; 13,15 ; 13,04

E : il n'y a pas la même durée

E' : ils sont près

E : de 16 à 62, il y a quand même une petite différence

E' : oui, mais des centièmes.

Les élèves en ont conclu qu'il fallait effectuer plusieurs mesures, ceci étant encore plus nécessaire pour toutes les mesures réalisées par tous les membres d'un groupe. Ils ont ainsi admis qu'ils ne pouvaient pas identifier quelle était la « bonne » mesure. De même ils ont constaté que le paramètre « expérimentateur » était important. Pour neutraliser celui-ci, ils ont donc décidé que, contrairement à leur habitude ou à des comportements d'élèves plus âgés, chaque élève du groupe effectuerait au moins deux chronométrages. De plus la faible dispersion des mesures s'est avérée être, pour les élèves, un des critères pour qualifier un bon chronométrage. Néanmoins, après les premières mesures, obtenir deux mesures identiques leur paraîtra anormal.

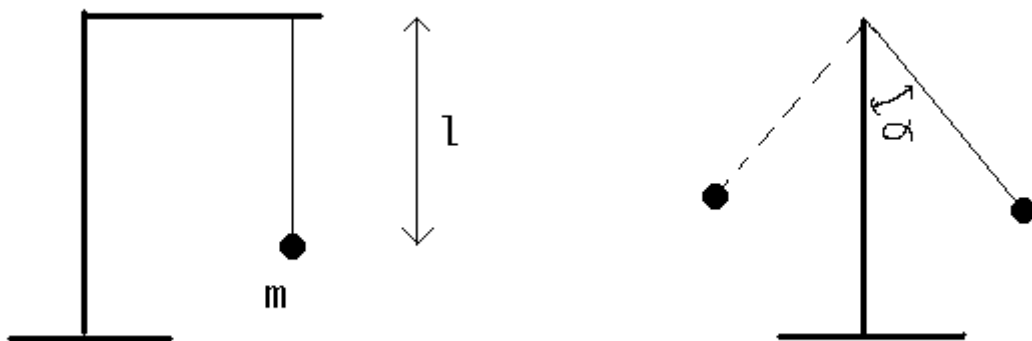
Pour effectuer ces mesures les enfants ont utilisé leurs montres disposant de chronomètre. Ces appareils donnaient des résultats au centième de seconde. Cette précision peut sembler inutile mais c'est elle qui a permis aux élèves de se rendre compte de l'existence d'erreurs expérimentales.

Les élèves après leurs différentes mesures, pour une même situation, ont éprouvé le besoin de tenir compte de l'ensemble de ces mesures. Les enseignants ont alors introduit la notion de moyenne et donné la technique du calcul. Les moyennes ont été effectuées à l'aide de calculettes. Les élèves ont accepté, à partir d'un exemple, que la moyenne ne corresponde à aucune mesure. Par la suite, ils s'étonneront quand la moyenne coïncide avec le résultat d'une de leurs mesures et remettront en cause leur calcul. Ce calcul de la moyenne a passionné les élèves, les uns surveillant le calcul des autres.

Séquence sur le pendule

Informations pour le maître

Le pendule simple



Un pendule est constitué d'un objet pesant accroché à une potence par l'intermédiaire d'un fil. Dans le cas le plus simple appelé « pendule simple » on considère que l'objet pesant peut être assimilé à une masse ponctuelle, c'est le cas d'une sphère d'un diamètre inférieur à 2 cm. Dans un plan orthogonal à la tige horizontale, le pendule écarté de sa position d'équilibre d'un angle α par rapport à la verticale puis, lâché, oscille dans ce plan vertical. On appelle « période » la durée entre deux passages du pendule au même point avec le même sens de parcours. **La période T ne dépend que de la longueur du pendule.**

La longueur du pendule est la distance comprise entre l'axe de rotation et le centre de la sphère. La période est proportionnelle à la racine carrée de la longueur « l » du pendule.

Autrement dit **cette période est indépendante de la masse « m » du lest et de l'angle d'oscillation si celui-ci est petit** (inférieur à 30° par rapport à la verticale). Malgré l'amortissement des oscillations **la durée de la période reste constante**. On parle d'isochronisme des oscillations.

Les élèves n'ont pas à savoir cela pour effectuer la séquence, au contraire cela empêcherait le bon déroulement de celle-ci.

Cette séquence vise surtout une démarche de type expérimental. Elle a pour objectif de concevoir et de réaliser des protocoles expérimentaux pour tester des hypothèses. Ces hypothèses portent sur le ou les facteurs qui peuvent avoir une influence sur la période d'oscillation du pendule. En réalité il s'agira ici de mesurer la durée de dix allers et retours d'un pendule. Le test de ce type d'hypothèses ne peut se limiter à un essai pour voir si ça « marche » ou non, comme pour savoir si un objet coule ou non. Il faut faire au moins deux manipulations en ne faisant varier que le paramètre lié à l'hypothèse tout en conservant les autres constants. Cette nécessité d'un témoin est fondamentale puisque l'on veut comparer.

Matériel utilisé durant la séquence :

- Dans un premier temps, pour l'émission des hypothèses des objets différents : par exemple, des masses marquées de 25g, 50g, 100g de deux types différents, des écrous de 3 dimensions, des bobines de fil de pêche de différents diamètres, des pelotes de ficelles, des potences, des chronomètres.
- Puis, dans un second temps, pour tester les hypothèses : des boîtes cylindriques diverses de tailles différentes, munies d'un crochet, utilisées comme lests (par exemple boîtes de pellicules photos...), des matériaux en granules ou en poudre (plombs, lessive...) pour « charger » les boîtes, des objets en plastique de masse identique et de formes différentes fabriqués par les enseignants, des balances Roberval. Les boîtes doivent être complètement remplies de chacun des matériaux pour que la position du centre de masse n'évolue pas trop en fonction de la charge. Avec des boîtes de faibles dimensions on peut assimiler les dispositifs à des pendules simples.

L'émission d'hypothèses

Déroulement possible :

a) Première séance : présentation du pendule et construction

- L'enseignant présente un pendule qu'il a construit ; les enfants le décrivent.
- A partir d'un pendule exemple, les enfants, par groupe de 2, construisent, sans indication particulière, des pendules en choisissant leur matériel parmi le matériel proposé et en prenant les longueurs de fil qu'ils désirent. Ceci a pour but d'obtenir des pendules différents donc ayant des périodes différentes.

b) Seconde séance : chronométrages et émissions d'hypothèses.

- Mesure de la durée de 10 allers et retours par les élèves. Pour cela il faut définir les conditions de manipulation : lâcher de l'objet avec la ficelle tendue, plan d'oscillation parallèle au bord de la table, début et fin de chronométrage.
- Comparaison des durées pour l'ensemble des pendules (après le calcul éventuel de la moyenne).
- Constatation que les durées sont différentes d'un pendule à l'autre.

Pour comprendre pourquoi les durées sont différentes d'un pendule à l'autre, les élèves observent les différents construits par les différents groupes et émettent des hypothèses concernant les éléments constituant le pendule. Ceci peut être fait collectivement ou individuellement.

Commentaires

Si les élèves ont réalisé peu de temps auparavant les chronométrages avec les métronomes, mesurer devient un réflexe et les inciter à mesurer ne pose aucune difficulté.

De même si les élèves ont effectué auparavant des chronométrages ils auront l'idée d'être plusieurs à effectuer les mêmes mesurages ou, dans un groupe, chacun effectuera plusieurs mesurages. Ceux-ci donneront des résultats différents ; on pourra tenir compte de l'ensemble des résultats pour chaque pendule en calculant les moyennes.

Bien que le matériel n'ait rien de spectaculaire, les élèves ont manipulé avec beaucoup d'enthousiasme dans les classes de CM1 observées peut être parce qu'ils testaient leurs hypothèses et/ou parce que les manipulations étaient rapides et faciles à recommencer.

Ils ont constaté l'amortissement des oscillations, mais cela ne les a pas gênés pour effectuer les mesures. En effet, ils ont considéré que, malgré l'amortissement, la durée de dix allers et retours était constante pour un pendule donné, lâché dans les mêmes conditions. En outre ils n'ont jamais dit que pour connaître la durée d'un aller et retour il fallait diviser par dix la durée chronométrée pour dix allers et retours.

Les élèves ayant construit des pendules différents et ayant obtenu des mesures évidemment différentes d'un pendule à l'autre, ont cherché à savoir de quoi pouvait bien dépendre cette durée. Ils ont donc émis individuellement des hypothèses. En réalité les enfants ont tendance à affirmer l'influence de tel ou tel facteur. Rares sont les formulations sous forme d'hypothèses.

M : est-ce que vous avez des remarques maintenant par rapport à la moyenne des durées ?

E : c'est très différent

Julie : pourquoi ?

M : pourquoi, Julie, je te pose la question puisque tu me la poses

Julie : le pendule 7 et le pendule 4 ont des ficelles plus courtes que les autres.

M : toi tu me dis que ça viendrait de...

Julie : de la ficelle, de la longueur.

E1 : de la masse

Julie : et de la longueur

E2 : l'objet peut avoir une influence.

Ben : plus l'objet est lourd plus ça va vite

E3 : non c'est le contraire plus ça va moins vite

Dans un premier temps, pour l'ensemble de la classe, ont été cités par les élèves, comme facteurs pouvant influencer la durée des dix allers et retours :

- l'angle de lâcher ;
- la longueur, le diamètre et la nature du fil ;
- la masse et la forme du lest.

La conception des protocoles expérimentaux

Informations pour le maître

C'est une des phases les plus délicates à gérer surtout si les élèves n'ont jamais été confrontés à ce type d'exercices. Il faut d'une part déterminer ce que l'on va faire varier

suivant l'hypothèse testée, affecter au moins deux valeurs différentes à cette grandeur et d'autre part fixer les valeurs que l'on va affecter aux autres facteurs, valeurs qui vont devoir rester constantes. Si ce type d'exercices est nouveau, il vaut donc mieux élaborer le premier protocole en classe entière puis demander ensuite d'autres protocoles correspondant aux autres hypothèses au niveau de groupes.

Un outil pratique consiste à présenter ces protocoles sous la forme de tableaux une fois que l'on a déterminé l'ensemble des facteurs.

Par exemple un protocole qui servirait à vérifier l'influence de la longueur du fil pourrait être présenté ainsi :

<i>pendule</i>	<i>nature de l'objet</i>	<i>longueur du fil</i>	<i>épaisseur du fil</i>	<i>nature du fil</i>	<i>masse de l'objet</i>	<i>durée des 10 AR en s</i>	<i>moyenne des 10 AR en s</i>
1	Masse marquée	10 cm	0,33 mm	fil de pêche	50 g		
2	Masse marquée	40 cm	0,33 mm	fil de pêche	50 g		

Les dernières colonnes concernant les résultats des mesures peuvent être rajoutées par la suite.

Déroulement possible :

Première séance : élaboration en classe entière de l'expérience pour tester la première hypothèse.

Cela demande de déterminer l'ensemble des facteurs que l'on peut prendre en compte pour l'ensemble des expériences ; ce qui revient à faire correspondre un facteur à chaque hypothèse. Il faut mettre en avant le besoin de comparer pour pouvoir apprécier le rôle du facteur testé et le besoin de garder les autres facteurs constants.

Deuxième séance : élaboration par groupes des autres expériences pour les autres hypothèses.

Il est souhaitable de proposer au moins à deux groupes de tester la même hypothèse. Cela permet par la suite de confronter les propositions et de mettre en évidence les points positifs ainsi que les points à revoir.

Commentaires

Dans les classes suivies, le groupe classe a travaillé sur l'ensemble des hypothèses alors que chaque élève n'en avait auparavant émis individuellement que quelques unes.

M : on a remarqué effectivement que les moyennes des 10 AR n'étaient pas les mêmes pour les différents pendules donc on s'est posé la question sur ce qui pouvait influencer la durée des 10 AR. Et chacun a fait une proposition, une hypothèse au sujet de ces influences. Bien, quelle est la suite logique, une fois qu'on a fait des hypothèses, au sujet de quelque chose, qu'est ce qu'on doit faire ensuite.

E : les vérifier.

M : comment fait-on une vérification ?

E1 : des expériences

M : il va falloir monter des expériences, alors c'est justement ... avant de les faire

E2 : les préparer

M : les préparer, imaginer quelles vont être ces expériences.

Il y eut plusieurs phases pour l'élaboration des protocoles :

- d'abord une phase écrite individuelle qui répondait à une consigne analogue à celle-ci : « *Certains de tes camarades ont écrit que la nature et la masse de l'objet avaient une influence sur la durée des 10 AR. Propose une ou des expériences pour vérifier ces hypothèses* », avec des élèves n'ayant jamais travaillé les tests d'hypothèses il est préférable de ne leur donner qu'une seule hypothèse à tester ;
- ensuite, une phase en groupes, groupes constitués par des élèves ayant eu à proposer une expérience pour tester la même hypothèse ;
- enfin une phase avec toute la classe durant laquelle chaque groupe propose le protocole élaboré, protocole critiqué en bien ou en mal par les autres élèves (Cf. annexe 3).

Les rares élèves ayant proposé des protocoles pertinents (variable correcte, autres facteurs constants) l'ont fait sous forme de tableaux. Par la suite cette présentation a été privilégiée. Les élèves avaient déjà utilisé des tableaux dans d'autres disciplines, c'est-à-dire qu'ils avaient lu et analysé des tableaux.

Il est beaucoup plus difficile pour les élèves de créer des tableaux. L'enseignant doit donc aider les élèves à trouver le nombre de lignes nécessaires, le nombre de colonnes, à affecter un facteur à une colonne (par exemple), ceci pour créer la structure tableau. Ensuite pour élaborer le protocole il peut être pratique de repérer la colonne correspondant à l'hypothèse en coloriant celle-ci.

Les travaux de groupe permettent des échanges fructueux si les groupes sont équilibrés (Cf. annexes 1 et 2). Ils permettent à chaque élève d'échanger leurs arguments et de progresser.

Les élèves pensent parfois qu'ils n'ont pas besoin de construire de nouveaux pendules et essaient de vérifier les hypothèses avec le matériel déjà existant.

Sans aide la majorité des élèves propose des expériences où plusieurs facteurs varient en même temps alors que certains ne font rien varier dans leur expérience. Les phases de confrontation sont des moments essentiels qui permettent aux élèves ayant compris d'expliquer aux autres les raisons de leurs propositions.

Un exercice pour évaluer si les élèves ont assimilé comment on effectue un test dans le cas de ce type d'hypothèse consiste à leur faire lire et analyser un tableau par rapport à l'hypothèse à tester (Cf. annexe 5).

Expérimentation

Déroulement possible : mise en place des expériences

- Mesurages et collecte des résultats
- Conclusion au niveau de chaque groupe
- Mise en commun et conclusions au niveau de la classe.

Suivant l'effectif de la classe tous les groupes peuvent effectuer toutes les expériences ou seulement deux groupes pour chacune des hypothèses. La durée de cette partie dépend donc du type de groupement envisagé ; elle peut varier également si certaines manipulations sont recommencées notamment suite à une critique du dispositif expérimental.

Commentaires

Pour les classes observées, le premier facteur envisagé par les élèves a concerné l'angle de lâcher. Pour tester cette hypothèse, les élèves avec chacun leur pendule ont réalisé une

manipulation avec un angle de lâcher de 90° (angle droit connu des élèves) et un de environ 45° . La mise en place de cette expérience a posé des difficultés de conception et de réalisation. En effet avec l'angle de 90° le pendule a tendance à basculer. Les élèves en comparant les résultats ont constaté que les durées avec 90° étaient légèrement supérieures à celles obtenues avec 45° . Ils ont donc conclu qu'ils devaient par la suite toujours écarter du même angle le pendule de la position d'équilibre (verticale).

M : on constate que suivant l'endroit où on lâche, ça a une influence, alors pour ne plus avoir cet élément là, qu'est ce qu'il faudrait décider ?

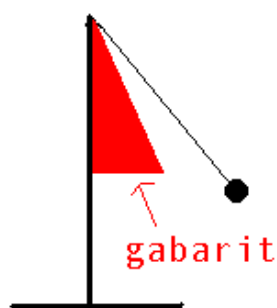
nE : d'une hauteur

M : d'un angle

E : très précis

M : comment fait-on pour avoir un point de départ précis ?

Maxime : avec le rapporteur on mesure 45



Les enseignants ont proposé 20° , ceci pour éviter d'éventuels basculements grâce à la petitesse de l'angle et parce que cet angle était visible sur l'équerre de la classe. Pour les manipulations cet angle de 20° a été ensuite matérialisé par un gabarit en carton qui a été directement fixé sur la potence du pendule, permettant ainsi d'écarter le pendule de la verticale de l'angle voulu.

La difficulté relative des manipulations oblige les élèves à réaliser un véritable travail de groupe, l'un vérifiant l'angle, l'autre tenant le lest, un troisième s'occupant du chronomètre.

Dans les classes observées les manipulations ont découlé des protocoles proposés et critiqués par les élèves.

Le passage à l'expérimentation, au-delà de l'attrait qu'il exerce sur les élèves, permet de leur faire mieux comprendre l'obligation d'une seule variable pour pouvoir déduire une conclusion.

Ainsi les élèves mesuraient la longueur de la ficelle avant d'attacher les lests. Cela n'était pas très gênant quand on testait l'influence de la longueur de la ficelle, mais cela le devenait dès que ce facteur devait rester constant car, puisque c'est un facteur influant sur la période, les élèves ne pouvaient plus déterminer si les variations observées sur la durée des 10 allers et retours provenaient du facteur testé ou d'une longueur fantaisiste de la ficelle.

Marie : on mettait pas toujours le même longueur. On coupait 45 cm mais en faisant les nœuds

M : après elles faisaient les nœuds mais ne vérifiaient pas du tout si entre la barre horizontale et l'objet

E : s'il y avait bien... 45 cm

M : Donc là qu'est ce qu'on peut dire ?

E : à refaire

Cécile : là, il faudrait vérifier

Les élèves après s'être rendus compte de cette difficulté ont mesuré avec précaution les longueurs après avoir attaché le lest. La longueur était mesurée entre la tige horizontale et l'objet ; pour réaliser un travail plus quantitatif il faudrait effectuer les mesures depuis

l'axe de rotation jusqu'au centre de gravité de l'objet, ces mesures donneraient alors la longueur du pendule. Mais il est plus simple pour les élèves de mesurer la longueur de la ficelle celle-ci matérialisant la longueur du pendule.

Pour tester l'influence de la masse sur la durée, les élèves avaient utilisé des masses marquées et obtenu des résultats semblables à ceux notés par un groupe dans le tableau ci-après :

<i>pendule</i>	<i>nature de l'objet</i>	<i>longueur du fil</i>	<i>épaisseur du fil</i>	<i>nature du fil</i>	<i>masse de l'objet</i>	<i>durée des 10 AR en s</i>	<i>moyenne des 10 AR en s</i>
1	laiton	45 cm	0,33 mm	fil de pêche	200 g	14,35 -14,12 14,24 -14,06	14,19
2	laiton	45 cm	0,33 mm	fil de pêche	100 g	13,56 -13,66 13,57 -13,65	13,61
3	laiton	45 cm	0,33 mm	fil de pêche	50 g	13,91 - 13,87 13,75 -13,75	13,82

On ne peut pas en tirer de conclusion

Les élèves n'ont pas déduit de conclusion car, avec la masse de 50g, ils s'attendaient à obtenir une durée inférieure à 13,61s, durée obtenue avec 100g.

A partir de toutes les expériences concernant l'influence possible de la masse, l'ensemble des élèves n'a pu conclure. C'est à ce moment là que l'enseignant a montré ostensiblement les masses marquées et que les élèves ont remarqué que l'augmentation de masse entraînait une augmentation de volume.

M : mais regardez bien, j'ai trois masses en laiton, c'est la même matière, c'est pas la même masse

E : ha oui, c'est pas la même forme

M : oui, c'est la même forme

E1 : ils n'ont pas tous la même grandeur / pas la même grandeur ; dans l'espace qu'est ce qu'on dit ?

E2 : volume

M : pas le même volume. Vous voyez qu'il y a le volume qui varie. Donc pour être sûr que la masse n'influence pas qu'est ce qu'il faudrait vérifier ?

E : avoir le même volume, mais pas la même masse

Certains élèves ont alors pensé que non seulement la masse mais aussi le volume pouvaient avoir une influence sur la durée. Ils ont donc mis au point deux expériences, l'une à volume constant pour tester l'influence de la masse, l'autre à masse constante pour tester l'influence possible du volume.

Benjamin : au lieu de prendre des masses comme ça, on pourrait prendre d'autres objets et mettre des choses à l'intérieur...

Marie : comme une boîte où on mettrait 50g, 100g et 200g

Pour réaliser les manipulations à volume constant les élèves ont proposé de remplir plus ou moins des boîtes. Les boîtes de pellicules photos permettent de rester dans les conditions du pendule simple. Il suffit de fixer un crochet au couvercle pour pouvoir ensuite les accrocher. Il vaut mieux les remplir complètement de différentes substances (poudre...) pour que le centre de gravité se trouve presque au même endroit durant les différentes manipulations, la masse du fil étant considérée comme négligeable devant celle du lest.

Pour les manipulations à masse constante, différentes boîtes cylindriques (boîtes de même forme) ont été utilisées.

Julie : si le volume avait une influence

M : alors ?

Julie : la forme des boîtes, pas de même volume mais qui ont le même poids.

Cependant plus le volume augmente plus on s'éloigne des conditions du pendule simple. Cela n'est pas très gênant car cela permet de mettre en évidence que le volume influe sur la période. En revanche plus le cylindre est haut, moins la longueur de la ficelle correspond à la réelle longueur du pendule qui devrait être mesurée entre l'axe de rotation et le centre de gravité du pendule.

Les élèves observés ont réalisé les différentes manipulations en utilisant des balances Roberval pour peser les différentes boîtes, boîtes à lester avec les matériaux laissés à leur disposition.

Les résultats des différentes mesures réalisées par les différents groupes ont montré :

- l'influence de la longueur de la ficelle sur la durée des dix allers et retours ;
- la non influence de la nature et du diamètre de la ficelle ;
- l'influence de la forme de l'objet suspendu
- l'influence du volume du lest sur la durée des dix allers et retours ;
- la non influence de la masse.

Les enfants ont paru accepter ces conclusions même quand celles-ci allaient à l'encontre de leurs représentations initiales, ceci peut-être parce que les conclusions découlaient d'une expérience et non d'un argument d'autorité.

Cependant les résultats définitifs n'ont été acceptés que si tous les groupes testant la même hypothèse aboutissaient à la même conclusion, à partir de leurs résultats, résultats appréciés « non ambigus » par l'ensemble du groupe classe. Quand un groupe arrivait à des résultats contraires, les élèves ont proposé systématiquement de renouveler l'expérience.

Avec les élèves observés, les conclusions ont toujours donné lieu à argumentation et à débats, notamment quand les résultats tout en étant différents n'étaient pas très éloignés les uns des autres, comme le montre l'annexe 4. Cette phase a permis aux élèves de faire preuve d'esprit critique par rapport aux conditions expérimentales réelles.

Une des difficultés concerne l'interprétation des résultats quand il y a de petites variations du phénomène. Elle peut être soit attribuée aux variations du facteur testé, soit à une dispersion des mesures. Pour réduire cette difficulté, on peut envisager plusieurs palliatifs :

- affecter à la variable des valeurs nettement différentes (10 et 45 cm au lieu de 10 et 12 cm) ;
- quand cela est possible, affecter trois ou quatre valeurs à la variable au lieu de deux. Cela permet de déduire un sens de variation du phénomène en fonction du facteur opérant (il n'y a pas de difficultés dans le cas du pendule) ; les élèves sont arrivés à des formulations du type « *plus la ficelle est longue, plus la durée des 10 AR est importante* » ;
- multiplier le nombre de groupes travaillant sur la même hypothèse, cela permet de multiplier les confrontations et donc d'éviter les conclusions trop rapides.

Dans tous les cas c'est le maître qui reste le garant scientifique de l'expérimentation.

Conclusion

Cette séquence avec le pendule favorise une démarche de type expérimental et notamment la vérification expérimentale d'hypothèses portant sur l'éventuel rôle d'un facteur ou de plusieurs facteurs sur un phénomène. Pour que des enfants d'une dizaine d'années (voire des adultes) puissent l'assimiler il faut recommencer ce type de séquences avec d'autres thèmes supports afin que les élèves réalisent que la méthode utilisée dans un cas est également valable dans d'autres situations.

Ce travail nécessite de la part des enseignants une réflexion sur l'enchaînement des séquences et dans la classe un temps de réalisation important se poursuivant au CM2.

Quant aux élèves ceux-ci doivent avoir une réflexion distanciée par rapport aux différentes activités afin de percevoir l'analogie des méthodes malgré la différence des situations.

Annexes

Annexe 1 : Transcription d'un enregistrement d'un travail de groupe (Marie, Laetitia, Caroline)

Caro : mets pendule 1, pendule 2

Ma : on n'en mettra peut-être pas 7

La : il faut mettre au moins trois exemples...

Ma : il faut changer qu'une chose à la fois, tu sais dans nos expériences, il fallait pas changer plusieurs choses. // Combien de colonnes ?

La : attends, nature de l'objet, tu l'as mis ? / je l'ai mis / et la masse de l'objet ? / non

La : combien de colonnes en tout ? / Ma : 1, 2, 3

Caro : il faut faire sur quelle expérience ? la nature ou la masse ?

La : tout // toi, tu changes la masse de l'objet, moi je change la nature

Ma : d'accord, alors comment je fais, je mets la même longueur que toi ?

La : pareil, 1, 2, 3, 3 fois. Marie tu fais comme moi, tu fais autant de colonnes que moi. Tu changes seulement, tu changes la masse de l'objet, tu mets des masses différentes...

Ma : la nature du fil, tu l'as pas notée. C'est important.

La : d'accord j'ai pas mis assez de colonnes quoi...

Caro : angle de lancer, angle de balancement... je sais pas si c'est correct...

La : Marie, tu copies sur moi. Par contre la nature de l'objet, moi je le change, toi tu mets la même et tu changes la masse. Tu mets par exemple 100g, 200g et 300g

Ma : la nature du fil ? / Caro : Nylon / La : Nylon, tu mets Nylon...

Annexe 2 : Transcription d'un enregistrement d'un travail de groupe (Xavier, Alex, Simon)

Xavier : Ton tableau, on n'y comprend rien.

Simon : Il aurait fallu faire deux tableaux. Il faut séparer, il aurait fallu séparer ce tableau, il aurait fallu que ça, il aurait fallu quatre pendules pour vérifier une expérience, il aurait fallu un seul élément et si tu voulais / c'est bien ça / changer, si tu voulais changer la masse de l'objet ç'aurait été pour ce tableau et si après tu aurais voulu faire la nature du poids, il fallait faire un autre tableau pareil, mais en changeant qu'une seule chose....

Simon : Xavier, il met trois pendules, il met trois pendules pour une expérience, donc l'expérience portait si l'on avait une influence, si la masse de l'objet...

Alex : Ha, c'était juste pour la masse de l'objet.

Simon : Donc c'est bon, toi c'est ce que tu aurais dû faire, faire un tableau pour une

Xavier : Là tu as fait un tableau pour tout faire.

Alex : J'ai fait expérience N°1, c'est pour telle chose, pour vérifier telle ou telle chose.

Simon : Ton tableau, tu dis que c'est expériences N°1, tu dis pas que c'est la potence N°1, tu dis pas que c'est la potence, le pendule N°1

Simon : Moi, je compare les résultats entre trois pendules, alors que là, il compare les résultats avec une pendule, tu peux pas comparer les résultats alors que tu as une seule, il en faut plusieurs pendules.

Xavier : Il en faut au minimum deux.

Xavier + Simon : deux pendules.

Simon : deux résultats minimum.

Annexe 3 : Phase de confrontation au niveau de la classe

M : qu'aviez vous à faire hier ?

Isabelle : il fallait proposer une expérience pour vérifier les hypothèses

M : *quelles hypothèses?*

I : *nous, c'était la nature de l'objet et la longueur du fil*

M : *qu'est ce que ça veut dire que la nature de l'objet est une hypothèse ; quelle était cette hypothèse ? Fais-moi une phrase.*

Claire : *la nature de l'objet a une influence sur les 10 AR*

M : *et votre 2^{ème} hypothèse, c'était quoi ?*

I : *la nature du fil*

M : *la nature du fil, qu'est ce que ça veut dire?*

Guillaume : *si la longueur a une influence sur les 10 AR*

M : *qu'est ce que vous proposez ? on vous écoute. Je vais le marquer : la nature de l'objet*

Isabelle : *la même nature*

M : *est-ce qu'il y a marqué la même nature ? Non, la nature de l'objet*

I : *pour chaque pendule*

M : *attends, le 2^{ème} élément c'était la longueur du fil. Je le mets pour que tout le monde comprenne bien.*

I : *pour la nature de l'objet, on avait pris la même nature pour chaque pendule et puis le même poids*

M : *ensuite, le même fil de pêche c'est ça et*

I : *la même longueur de fil*

M : *est-ce que c'était ça ? / Oui / vous avez voulu faire ça*

Laetitia : *je pense que ça va pas marcher*

M : *essaie d'expliquer aux autres*

L : *parce que ils ont mis toujours... il faut que ça change au moins dans un ... une..*

M : *dans une colonne / oui / dans un élément / Oui, sinon ce sera toujours la même chose*

Isabelle : *puisqu'il faut pas qu'il y ait d'influence*

E : *mais si*

E' : *c'est pour savoir s'il y a une influence, c'est ça qu'on veut savoir*

Gabriel : *si tu fais changer le poids, après tu sauras si le poids, ou la nature de l'objet, a une influence sur la durée de 10 AR. Si ça a pas d'influence et bien ça a pas d'influence*

Julie : *si on fait rien varier c'est comme si on faisait la même chose plusieurs fois. si on fait varier seulement ce que l'on cherche, par exemple la nature de l'objet, si on fait varier entre plusieurs objets, on pourra voir si jamais c'est les mêmes calculs, ça veut dire que ça a une influence...*

Marie : *peut-être qu'ils auraient pu faire 2 tableaux, puisqu'il y a 2 choses, pour faire varier 2 choses en même temps*

E : *oui*

M : *vous comprenez ce qu'on vous dit ou pas ? (au groupe d'Isabelle)*

Guillaume : *non*

Marie : *faire 2 tableaux pour faire les 2 expériences, parce que on avait vu que dans les expérience il fallait pas faire varier plusieurs choses en même temps*

M : *eux, remarque, ils n'ont pas fait varier plusieurs choses, ils n'ont rien fait varier du tout*

Marie : *oui, mais s'ils le faisaient*

M : *s'ils le faisaient, il faudrait penser à ne pas faire tout varier en même temps. On va s'arrêter pour ce groupe. Je garde le tableau...*

M : *pour des fils différents coton, Nylon vous obtenez les moyennes, tu vas nous les relire*

B : *14, 11 14,13 13,57*

On a mis : *« la nature du fil n'a pas d'influence sur la durée des 10 AR »*

E : *il y a un petit peu de différence quand même, parce que par rapport à la nature de l'objet il n'y en avait que 3, ici on se retrouve...*

M : *tu veux dire que les écarts sont plus importants? Eux, ils en déduisent que ça n'a pas d'influence. Donc c'est la même remarque*

E : *sauf peut-être pour le 13,57 il peut y avoir une influence*

M : voilà, vous avez au moins 2 mesures, 2 séries de mesures là à 2 centièmes près, vous pouvez dire effectivement que ça n'avait pas d'influence. Il n'y a que là, à 13,57 que l'on peut peut-être émettre un doute.

E : peut-être qu'ils se sont trompés aussi

M : si on regarde par rapport aux écarts, si on fait référence à la longueur du fil, on voit bien que pour la longueur du fil les écarts sont beaucoup plus importants. Donc là est-ce que c'est une influence très faible ou pas d'influence du tout ...

E : pas d'influence

M : on ne sait pas

E1 : enfin une influence très faible

M : une influence très faible ou alors ça n'a pas d'influence, ça veut dire que ces différences entre les différentes mesures seraient dues à quoi, si ça n'a pas d'influence?

E : à l'épaisseur du fil

M : alors c'est que ça a une influence

E' : du chronomètreur

M : ça peut venir du chronomètreur

E1 : ils se sont trompés dans la longueur...

M : nous allons voir les expériences sur l'influence de la masse, le groupe de Marie

Marie : alors la lessive, on a trouvé 31g, moyenne 13,41

acier	69g	13,47
plomb	104g	13,67

M : alors qu'est ce que vous avez tiré comme conclusion ou pas vous?

Marie : oui que ça n'avait pas d'influence

E : le 3ème paraît un petit peu éloigné

E' : oui, mais tu as vu la différence entre 31 et 104...

Annexe 5 : exemple d'évaluation :

Paul et Valérie veulent faire une expérience avec des pendules, expérience décrite par le tableau suivant :

	Longueur du fil (cm)	nature du fil	objet suspendu	masse (g)	durée de 10 allers et retours (s)
Pendule 1	30	Nylon diamètre 0,20 mm	boule identique	30	
Pendule 2	40	Nylon diamètre 0,20 mm	boule identique	30	
Pendule 3	50	Nylon diamètre 0,20 mm	boule identique	30	

1) Quel est l'élément qui varie?

2) Ils veulent savoir si la masse de l'objet a une influence sur la durée des battements.

Que penses-tu de leur expérience ?

Justifie ta réponse.

Commentaires :

1) La recherche de l'élément qui varie permet de savoir si l'élève sait lire un tableau.

2) La justification est indispensable ; elle permet d'apprécier le raisonnement de l'élève.

On peut également donner à critiquer un protocole avec deux facteurs variant simultanément.