
ENSEIGNER ET APPRENDRE LES GRANDEURS A L'ECOLE PRIMAIRE

Groupe " *École primaire* "
et Louis ROYE
Irem de Lille¹

Les situations présentées ici sont extraites d'un ouvrage intitulé *Enseigner et apprendre les grandeurs à l'école primaire* qui est le fruit de la réflexion du groupe École Primaire de l'IREM de Lille, menée depuis 2002 sur l'enseignement des grandeurs à l'école et au début du collège. Fortement encouragés par Raymond Moché, Directeur de l'IREM de Lille, et nourris par les échanges avec le groupe Collège de l'IREM de Lille, les travaux du groupe École primaire se sont articulés autour de la question de la spécificité des situations à mettre en œuvre pour enseigner et apprendre chacune des grandeurs au programme du cycle 3 de l'école et du début du collège.

Les travaux proposés sont des situations d'apprentissage, c'est-à-dire des situations

qui visent à la fois la transformation qualitative de l'état de connaissance des élèves et, à terme, le transfert de la connaissance ainsi élaborée à la résolution de nouveaux problèmes. L'ensemble de ces travaux sera consigné dans un ouvrage à paraître dans la collection nationale « *Outils pour les cycles* » du réseau SCEREN – CNDP, éditée par le CRDP Nord – Pas-de-Calais.

Destiné aux enseignants de l'école et de début du collège, cet ouvrage comporte trois grandes parties,

— **les deux premières parties** regroupent sous six grandes rubriques des situations pratiquement toutes expérimentées dans les classes du cycle 3 (dont une en

¹ Louis Roye, professeur d'IUFM honoraire, responsable du groupe «Ecole primaire» de l'IREM de Lille ; Jean-Pierre Deltour, directeur de l'école Le petit prince à Allennes-les-Marais ; Gérard Druon, conseiller pédagogique de circonscription ; Eric Evrard, directeur de l'école Suzanne Crapet à Nieppe ; François Ghoris, directeur de l'école de Staple ; Martine Langlet, directrice de l'école maternelle Anatole France à Villeneuve d'Ascq ; Pascale Labadie, directrice de l'école maternelle Paul Fort à Villeneuve d'Ascq ; Michel Lelong, enseignant maître-formateur

à l'école Chénier à Lille ; Sarah Loonis, enseignante à l'école Chénier à Lille, Jacqueline Lubet, professeur de sciences physiques retraitée ; Thierry Mercier, conseiller pédagogique de circonscription ; Hélène Némitz, professeur de mathématiques au collège Franklin à Lille ; Valérie Owsinski, enseignant maître-formateur à l'école Chénier à Lille .David Rataj, conseiller pédagogique de circonscription ; Stéphane Robert, professeur de mathématiques au collège Adulphe Delegorgue, à Courcelles-les-Lens.

REP), dans la visée d'apprendre à résoudre des problèmes liés :

- dans la première partie, aux grandeurs géométriques «longueur», «aire», «angle»,
- dans la deuxième partie, aux grandeurs «masse», «volume» (sous son aspect contenance), «durée et date»,

— **la troisième partie** à laquelle les deux premières invitent à se référer, apporte un éclairage théorique sur les notions de mathématiques et de sciences physiques en jeu dans les situations proposées.

Les spécificités de traitement relatives aux différentes grandeurs considérées (procédures de comparaison, processus pour construire l'additivité) sont explicitées pour chacune d'elles dans un paragraphe introductif, précisant les points-clés d'une progression dans le cadre des nouveaux programmes de 2002.

Les intentions de notre équipe sont claires : promouvoir des situations permettant aux élèves, à travers les résolutions de problèmes qu'elles posent, de *donner leur signification aux connaissances sur les grandeurs et leur mesure* qui y sont travaillées.

L'accent mis sur les résolutions de problèmes suppose toutefois que les tâches proposées aux élèves soient bien perçues par eux comme des problèmes à résoudre, c'est-à-dire des situations dans lesquelles ils doivent chercher, faire des hypothèses, des essais, accepter de ne pas trouver tout de suite, risquer de se tromper, devoir revenir en arrière. C'est pourquoi *les démarches pédagogiques mises en œuvre dans cet ouvrage sont centrées sur les apprentissages spécifiques à la résolution de problèmes liés aux différentes grandeurs considérées*. Le rôle de l'enseignant est ici déterminant : cadrer l'activité, faire naître le questionne-

ment, faire vivre les questions posées et non les stériliser par une aide qui donnerait directement les réponses, faire adopter un langage spécifique rendu nécessaire en situation. On pourra le constater, pour les trois situations données en exemple, dans les tableaux explicitant un déroulement possible (phases d'activité, travail de recherche, travail individuel, travail collectif, travail par groupes, médiation de l'enseignant, échanges entre pairs).

Conformément aux programmes de 2002 pour l'école, nous avons d'abord recours à des classements qui consistent à mettre ensemble des objets qui peuvent être différents, mais pour lesquels la grandeur que l'on souhaite étudier est identique (exemple : objets d'aspects différents qui s'équilibrent sur une balance à bras égaux) avant même que la mesure n'intervienne. A notre avis, c'est au travers l'élaboration de protocoles expérimentaux de comparaison que les grandeurs que l'on souhaite étudier vont prendre leur sens.

La présentation de la plupart des situations est faite sur le même mode, habituel dans les ouvrages de la collection «Outils pour les cycles», mais qui peut dérouter certains des lecteurs de cet article. Expliquons-la donc :

— La «Présentation générale», comme son nom l'indique, présente la séance, le contexte dans lequel elle se situe, sa place dans une progression et les étapes principales de l'activité proposée. Les trois rubriques suivantes, aux intitulés codifiés, détaillent ce qu'elle devrait apporter pour l'enseignement au niveau considéré. Ainsi «Notions mathématiques en jeu» précise les points mathématiques abordés dans l'activité. «Compétences visées» se réfère au tableau de compétences des programmes de 2002, toujours en vigueur, dans les termes mêmes de ces programmes, tandis que «Objectifs» est davantage relatif à nos

propres intentions, à savoir permettre aux élèves de donner à la grandeur étudiée sa signification.

— Après avoir donné aux enseignants, dans la rubrique «Matériel», les indications nécessaires à la réalisation de la séance, complétées éventuellement dans des «annexes», nous rendons compte, dans le paragraphe «Analyse de la tâche» des étapes de la progression, des réactions des élèves et des difficultés auxquelles on peut s'attendre, des moyens de pallier ces difficultés, et de les utiliser pour avancer. Cette analyse résulte d'une réflexion à la lumière de ce qui a été expérimenté dans les classes.

— En classe, bien souvent les situations d'apprentissage que nous avons proposées n'ont pris du sens aux yeux des élèves, et donc ne les ont engagés dans une recherche active, qu'au cours d'une analyse collective faite d'échanges et de médiations ou dans le déroulement d'un travail déjà mis en chantier avec des moyens précaires. Nous voulions en rendre compte : c'est ainsi que des situations présentées bénéficient le plus souvent de propositions détaillées de mise en oeuvre sous forme parfois d'un texte continu, le plus souvent d'un *tableau de déroulement*. Le tableau détaillé comporte trois colonnes, qui précisent concrètement, pour chaque phase, comme nous l'avons écrit ci-dessus, la démarche pédagogique de l'enseignant : la manière dont, notamment par la «consigne», il suscite la recherche ; comment il permet, en faisant exprimer leurs démarches par les élèves et en les confrontant individuellement ou collectivement aux faits eux-mêmes, d'atteindre le but recherché. Certaines phases peuvent paraître longues, ou redondantes (par exemple, les phases 7 à 10 de la situation «Balance romaine») ; elles ont suivi la progression de la classe. Il faut que les élèves constatent eux-mêmes les problèmes et cherchent une solution avant de les aider à aller plus loin.

En annexe de chacune de ces situations figurent des documents destinés aux élèves, d'autres aux enseignants. Dans cet article sont donnés des exemples de situations, celles-ci sont présentées comme dans l'ouvrage à paraître :

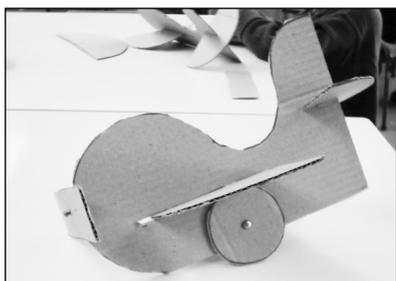
— pour la moyenne section de l'école maternelle, la situation *Les avions* relative à la forme et à la taille de surfaces planes ;

— pour le cycle 3, les situations *Balance romaine* et *Peut-on peser un cheveu ?* relatives à la grandeur *masse*.

A. Travaux sur “formes et grandeurs” à l'école maternelle : Les avions (école maternelle moyenne section : enfants de trois à quatre ans)

Il s'agissait d'amener des enfants de moyenne section de maternelle (âgés de 3 à 4 ans) à repérer dans une collection d'objets deux critères de classement, ici la forme et la taille ; à les comparer, les classer selon ces critères, enfin à les ranger. Ceci s'est fait par le biais d'un jeu de construction d'avions, *donc d'un problème à résoudre* à cet âge : repérer et trouver les pièces convenables (bonne forme, bonne taille), puis les ajuster. Les avions à construire sont de quatre tailles différentes. Donner aux élèves les pièces nécessaires à la construction d'un avion, avec les explications nécessaires, conduirait certes à la production de l'avion, et serait un apprentissage à ce type de manipulation. L'activité proposée visait un autre but. Par contre, donner d'emblée aux élèves toutes les pièces des quatre tailles et leur demander de choisir celles qu'il leur faut serait voué à l'échec, car trop difficile pour les élèves de moyenne section. C'est pourquoi l'activité se déroule en quatre séances, où la tâche se complexifie à mesure des acquisitions ; la verbalisation des opérations faites intervient dans la progression.

Comme on le verra ci-dessous, dans la première séance, au cours de laquelle les enfants montent un avion semblable à celui qu'ils voient monté, et que l'enseignant a démonté puis remonté devant eux, le choix ne porte que sur la forme des pièces. La deuxième séance est consacrée à la verbalisation par la confection d'un message dicté à l'enseignant(e). Dans les deux séances suivantes, la taille des pièces intervient aussi avec, dans la quatrième, la nécessité d'énoncer verbalement les pièces souhaitées qu'ils n'ont pas devant eux et qu'ils doivent « commander ». Ceci est développé dans les paragraphes « analyse de la tâche » des différentes séances.



Présentation générale de la situation

Souvent on demande aux élèves de l'école maternelle d'effectuer des classifications d'objets suivant une ou plusieurs de leur propriétés sans que ces classifications leur paraissent fonctionnelles, c'est-à-dire efficaces dans la résolution d'un problème posé dans une situation. Au cours de quatre séances décrites ici, la demande faite aux élèves de moyenne section de reconstituer un avion suivant des contraintes différentes, va les amener à percevoir les propriétés des pièces composantes relatives à leur forme et à leur taille afin de réaliser les tâches qui leur sont proposées.

Première séance : Il s'agit de reconstituer un avion à partir d'un modèle à l'aide de pièces prédécoupées qu'il faut choisir selon leur forme.

Matériel :

- modèle réduit d'avion reconstitué
- les pièces prédécoupées de quatre tailles différentes.

Notion mathématique en jeu :

Surfaces planes de même forme

Compétences visées (programmes de l'école primaire 2002)

- reconnaître des objets en tenant compte de caractéristiques liées à leur forme et à leur taille.
- Reproduire un assemblage d'objets de formes simples à partir d'un modèle.

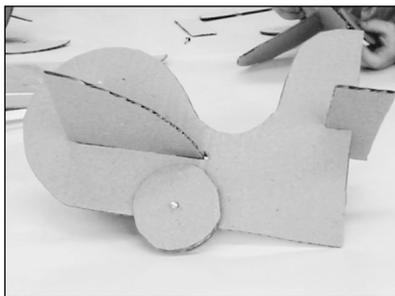
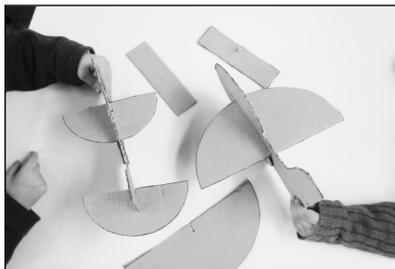
Objectifs : En vue de savoir remonter un objet complexe (l'avion), amener les élèves, lors de son démontage et de son observation à :

- différencier les pièces suivant des caractéristiques liées à leur forme et à leur taille
- s'approprier un langage commun (vocabulaire spécifique : fuselage, aile, aile de queue, hélice, roue) pour désigner ces différentes pièces
- percevoir les positions relatives des différentes pièces (vocabulaire topologique)

Analyse de la tâche : Les élèves doivent choisir les pièces nécessaires à la reconstitution d'un avion à partir d'un modèle. Le choix ne porte que sur la forme des pièces (à part les deux ailes d'un même avion).

- Une première difficulté est celle du choix des ailes car l'aile principale et l'aile de queue sont de même forme (mais de taille différente). On peut s'attendre à ce que les élèves confondent les pièces (en particulier les ailes), choisissent deux fois la même, pénalisant ainsi les autres élèves.

— D'autres difficultés concernent les positions relatives des pièces composantes (hélice placée en position d'aile de queue, mauvaise orientation soit de l'aile, soit de l'aile de queue par rapport au fuselage).



Des échanges entre les élèves d'un même groupe peuvent régler ces difficultés toutefois la médiation de l'enseignant(e) peut être nécessaire pour formuler précisément l'erreur faite.

Indications pour un déroulement possible

Travail par groupe de quatre, toutes les pièces nécessaires à la reconstitution d'un avion de même taille sont à la disposition de chaque groupe.

Consigne donnée aux élèves : « Vous prenez dans le panier toutes les pièces dont vous avez besoin pour construire votre avion ».

Deuxième séance

Il s'agit maintenant d'élaborer un plan de montage destiné à autrui.

Compétences visées (programmes de l'école primaire 2002)

— s'approprier un langage commun pour désigner les différentes pièces d'un objet démontable

— élaborer une fiche technique sous la modalité de la dictée collective à l'adulte

Objectifs

Amener les élèves à nommer les pièces nécessaires à la reconstitution d'un objet complexe et à établir une notice de montage de manière à ce qu'elle puisse être comprise par d'autres élèves.

Analyse de la tâche

On pourrait peut-être décrire un plan de montage à la seule vue d'un avion construit, compte tenu des réalisations obtenues au cours de la séance précédente. Pourtant certains enfants auront sans doute besoin de réaliser le montage pas à pas pour le décrire.

Par une discussion les élèves seront amenés à expliciter les étapes nécessaires à la fabrication de l'avion ; pour certains enfants il sera utile de

— se représenter la forme et l'organisation de l'écrit à produire

— reformuler (par l'enseignant ou par un enfant) la syntaxe et le vocabulaire : réaliser le montage pas à pas pour le décrire et formuler l'action si besoin.

Troisième séance

Il s'agit ici de reconstituer un avion de taille donnée en choisissant les bonnes pièces dans un lot de pièces de toutes les tailles.

Matériel : les pièces prédécoupées de quatre tailles différentes.

Notions mathématiques en jeu : Ordre sur des formes homothétiques suivant leur aire.

Compétences visées (programmes de l'école primaire 2002) : Comparer, classer et ranger des objets suivant leur forme et leur taille.

Objectifs : Mettre les élèves en situation de choisir dans un lot de pièces de diverses tailles les pièces qui conviennent à la reconstitution d'un assemblage dont la taille est repérée par celle d'une pièce composante donnée.

Analyse de la tâche

Il s'agit donc, à partir du fuselage et des roues que l'on a reçus, de choisir les ailes et l'hélice de bonne taille. Le travail par groupes vise la coopération puisque si l'un des élèves du groupe se trompe, un autre élève en pâtit et ne peut achever la reconstitution de son avion : en effet, si l'un des élèves a installé une aile principale trop petite, nécessairement l'un des autres élèves du groupe ne pourra pas placer l'aile vacante puisqu'elle sera trop grande pour glisser dans la fente du fuselage dont il dispose. Une analyse plus fine est nécessaire pour les hélices et pour les ailes de queue. Cette analyse exige un débat (scientifique) dans le groupe avec la médiation de l'enseignante. Chaque élève devra prendre en compte qu'il y a 4 tailles d'avion et qu'à chacune d'elles correspondent des pièces composantes bien précises.

Une difficulté provient de la désignation de la taille de chaque avion (que dire : moyen, moyen- grand pour les deux tailles intermédiaires ?)



Indication de déroulement possible : Travail par groupes de quatre, un avion en cours de reconstruction. Les pièces nécessaires à la reconstitution de quatre tailles différentes sont mises à la disposition des élèves. Des échanges pour des mises au point nécessitent que les élèves se déplacent au coin regroupement en abandonnant pour un temps leur plan de travail.

Consignes successives :

- « Vous devez terminer la construction de votre avion en tenant compte de la taille de celui-ci ».
- « Comment faire pour construire son avion sans se tromper ? »
- « Comment vérifier que l'on a pris le plus grand fuselage, comment faire pour en être sûr ? »

Au cours de l'activité les élèves seront amenés à classer, puis ranger les pièces de même nature suivant leur taille.

Quatrième séance

Les élèves doivent enfin commander une (ou plusieurs) pièce(s) manquante(s) en vue d'achever la reconstitution d'un avion de taille donnée

Matériel :

- un avion modèle
- un avion en cours de construction mais incomplet par enfant (un ou deux éléments manquants)
- 20 pièces de chacune des formes regroupées par catégories dans de grandes boîtes

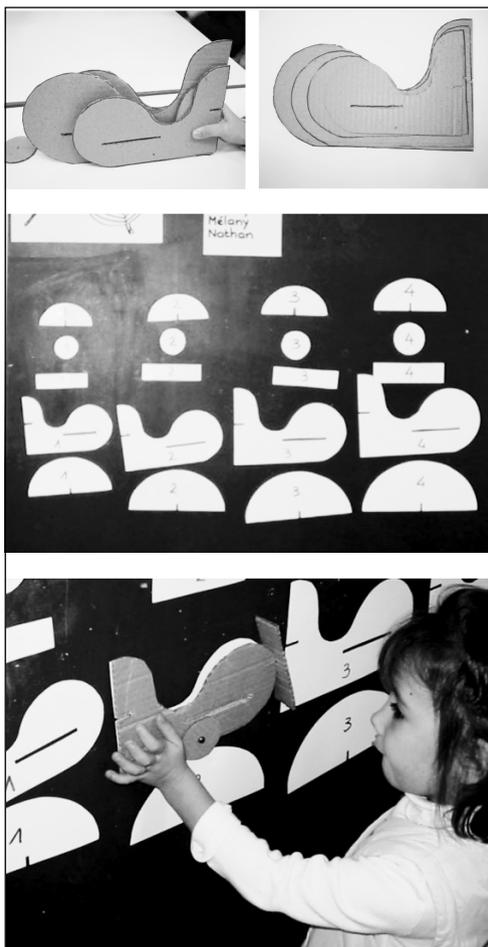
Notions mathématiques en jeu : Partition d'une collection suivant une ou deux propriétés, ordre sur les classes d'une partition.

Compétences visées (programmes de l'école primaire 2002) :

- reproduire un assemblage à 3 dimensions à l'aide de pièces qu'il faut choisir en se référant à leur forme et à leur taille
- différencier des objets suivant leur forme et leur taille et nommer ces objets en se référant à un vocabulaire commun;
- utiliser la comptine numérique (de un à quatre) pour hiérarchiser des séries.

Objectifs : Pour achever le remontage d'un objet complexe en commandant les pièces à distance, amener les élèves à :

- anticiper les pièces manquantes,
- mieux distinguer les critères de forme et de taille des pièces composantes.
- élaborer une stratégie de comparaison et d'identification de ces pièces en les organisant spatialement sous forme d'un tableau à double entrée



Analyse de la tâche

Chaque élève doit donc commander la ou (les) pièces manquante(s) en respectant la forme et la taille imposées par celles des pièces du remontage inachevé (il faut par exemple commander les roues pour achever la reconstitution). Les difficultés proviendront de la nécessité de coordonner les critères forme et taille et aussi

de classer mentalement les pièces correspondant à un avion de taille donnée.

On peut, dans un travail collectif, sur des exemples, faire d'abord identifier la forme de la pièce manquante, nommer cette pièce.

Dans la phase de travail individuel qui va suivre, celle de la commande effective, on peut s'attendre à ce que certains élèves aillent directement commander la pièce manquante en la nommant, ou en désignant le panier qui correspond à la forme requise, sans référence à la taille imposée et que d'autres, s'étant approprié le problème des tailles, en référence à la situation vécue dans la 3ème séance, restent dans l'expectative, faute de pouvoir qualifier la bonne forme quant à sa taille..

Déroulement possible

a) *travail collectif* : Présentation d'un avion avec pièce manquante. Identification et désignation de la pièce manquante. par ex : l'hélice doit être devant, l'aile devant, l'aile de queue derrière les roues en dessous de l'aile .

Consigne : « Vous allez faire vos courses pour fabriquer votre avion. Vous devez prendre toutes les formes manquantes en une seule fois et vous vous installerez ensuite à votre table pour finir de fabriquer votre avion. »

b) *Alternance entre travail individuel* pour penser la commande *et phase de regroupement* pour organiser la manière de procéder (classement et rangement des pièces, ce qui mènera par exemple à la construction collective d'un tableau à double entrée. Par superposition sur le fuselage «gabarit», les élèves identifient la taille de leur avion, et commandent leurs pièces manquantes.

Prolongements possibles et évaluation

De nombreuses situations de même type peuvent être proposées aux élèves de moyenne et grande sections d'école maternelle, par exemple habiller des bonhommes de tailles différentes avec trois ou quatre types de vêtements adaptés aux tailles des bonhommes ; grouper des pièces de puzzle suivant leur forme et leur taille, etc. Une évaluation pourrait, parmi d'autres activités, consister à relier sur une feuille de papier des bonhommes à leurs vêtements par des traits indiquant les correspondances.

L'activité présentée dans les pages qui précèdent a été pratiquée dans plusieurs classes Les enseignant(e)s ont constaté chaque fois son succès auprès des élèves et son efficacité, la plupart des élèves réussissant finalement à résoudre les problèmes posés et à tenir compte des deux critères (forme et taille) pour faire leur choix dans la collection de pièces disponibles. L'introduction du tableau à double entrée, suggérée par la disposition des pièces, s'est révélée profitable et réutilisable par la suite.

Cependant, il est certain que la préparation de cette activité demande un grand investissement de l'enseignant en temps de fabrication de la centaine de pièces nécessaires, même si elles ont servi plusieurs fois.

B. Travaux sur les masses

Ce paragraphe se compose d'une introduction et du développement de deux situations : B1 *Balance romaine*, suivie de deux annexes, et B2 *Peut-on peser un cheveu ?*

Étude de problèmes liés à la grandeur masse

Comme pour les autres grandeurs, on trouve pour la construction de la «masse» les étapes suivantes : comparaison d'objets selon leur masse (plus lourd, moins lourd, égalité des masses), c'est-à-dire rangement et classement des objets suivant leur masse (étape I), choix d'un échantillon comme étalon et introduction de rapports de masses, c'est-à-dire passage des masses vers leur mesure (étape II), enfin passage aux unités légales, c'est-à-dire opérations sur les mesures (étape III). Nous ferons référence à ces étapes dans ce qui suit.

Cependant la comparaison des masses de différents objets est peu accessible à nos sens. L'une des premières opérations à faire pour dissocier la grandeur masse de la grandeur volume, par exemple, est de montrer que le sens de la vue est trompeur lorsque, dans le cas d'objets en substances différentes, il croit pouvoir associer une masse plus grande à une taille plus grande. Soupeser les objets pour estimer leur masse est certes une première méthode de comparaison, utilisant la sensation d'effort des muscles des bras ; elle permet d'introduire la grandeur, de savoir de quoi l'on parle, mais elle montre vite ses limites : son domaine d'application est étroit, elle ne permet pas de distinguer des masses proches ; de plus elle est parfois trompeuse, car nos deux bras n'ont pas nécessairement la même sensibilité. Bref, la comparaison, puis la mesure des masses, doit faire appel à un instrument. C'est *la balance* qui a permis aux hommes, depuis l'Antiquité, de mesurer une quantité de matière indépendamment de sa forme, de son volume et de la substance dont elle est composée. Quand un objet placé sur un plateau d'une balance

est en équilibre avec un objet placé de l'autre côté, l'équilibre se maintiendra, quel que soit le changement de forme de l'objet, même si on le découpe en morceaux, ou si on le fait fondre. La balance compare les objets selon une grandeur indépendante de la forme, du volume et de l'état physique : cette grandeur est la *masse de gravitation* ou *masse pesante*. On peut constater que lorsqu'on réunit plusieurs objets, leurs masses s'ajoutent : c'est une grandeur additive. Étant donné deux objets de masses différentes, on pourra toujours, en réunissant un certain nombre d'objets identiques au plus léger, former un ensemble dont la masse dépasse celle du plus lourd. En conclusion, la masse pesante est une grandeur mesurable ; on pourra donc choisir un étalon et donner une mesure de la masse d'un objet.

D'ailleurs la «masse» d'un objet est définie comme «ce qui est mesuré par une balance». Il s'agit dans ce cas de la *masse de gravitation*. La *masse inerte* n'est pas présentée avant le lycée. Rappelons que, à l'école primaire, le mot «masse» est considéré comme synonyme de «poids», comme dans le langage courant. En fait, ces grandeurs sont de natures différentes. La distinction entre elles est précisée dans la troisième partie de l'ouvrage dont nous présentons ici des extraits.

On verra ci-dessous, à l'occasion des activités proposées, différents moyens de fabriquer des «balances». On peut envisager, dans certains cas, de lier un travail en technologie ou en sciences expérimentales à l'étude mathématique. Dans celle-ci on retrouvera la pratique du mesurage, le choix d'un instrument adapté à l'objet, la prise de conscience du fait que le résultat d'un mesurage est une valeur approchée, ce qui peut se traduire parfois par un encadrement. Les unités légales fina-

lement utilisées sont le gramme, ses multiples et sous-multiples usités.

Les deux situations qui suivent constituent des exemples parmi d'autres de ce que l'on peut proposer à l'école pour solliciter l'activité des élèves, le but poursuivi étant d'amener ceux-ci à caractériser la grandeur masse comme qualité commune à plusieurs objets, indépendante de leur forme, de leurs dimensions, de la substance qui les constitue et de l'état physique de cette substance, avant même que les unités conventionnelles n'interviennent.

Dans l'activité *Balance romaine*, les élèves, après avoir tenté de ranger des objets par ordre de masse en les soupesant (étape I : *classer et ranger des objets selon leur masse*), utilisent une balance romaine pouvant être fabriquée en classe. L'étalonnage et l'utilisation de cet instrument permettent le passage vers la mesure (étape II : *des masses vers leur mesure*), puis la mesure elle-même (étape III : *la mesure*). Dans le cas de la balance romaine, la comparaison est de type indirect, la masse de l'objet pesé étant repérée par la position du curseur sur la tige de la balance ; de plus, dans ce cas, le déplacement du contre-poids sur la tige à partir du zéro est proportionnel à la masse (*au poids*) de l'objet mis dans le plateau de la balance. Comme on l'a vu dans ce qui précède, notre but n'est pas d'apprendre aux élèves à se servir d'une balance romaine. Nous ne leur en donnons pas un mode d'emploi. Au contraire, ils doivent découvrir eux-mêmes ses particularités : existence d'un lien entre le déplacement du contre-poids et le poids de l'objet placé dans le plateau, caractérisation de ce lien. Ce travail, guidé par l'enseignant, les conduit à comprendre que la masse est une grandeur mesurable et à résoudre les problèmes posés : donner une mesure de la masse des objets présentés, d'abord

avec une unité « locale », puis avec les unités légales. Le mode d'emploi de la balance est acquis par surcroît. De plus, il faut noter que cette activité peut aussi s'insérer dans une étude de la proportionnalité.

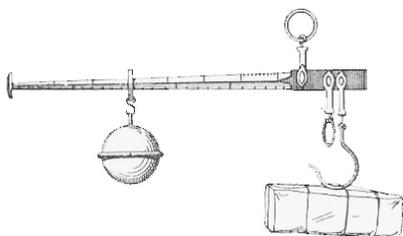
Peut-on peser quelque chose d'apparemment sans poids, comme un cheveu ? L'activité *Peut-on peser un cheveu* permet aux élèves de répondre positivement à cette question, par l'utilisation d'une balance très sensible, pouvant facilement être construite en classe. Son utilisation enrichit la perception qu'ont les élèves de la grandeur masse (étape I : *classer et ranger des objets selon leur masse*) ; par ailleurs, dans cette balance, la variation de masse se traduit par le déplacement de l'extrémité d'une paille le long d'une bande de papier, donc par la correspondance avec une longueur, comme dans l'activité précédente (étape II : *des masses vers leur mesure*). On retrouvera ici les différentes étapes de l'utilisation d'un instrument : étalonnage avec un étalon approprié ; mesurage dont le résultat peut être un encadrement, et qui nécessite des précautions particulières, en raison de la sensibilité de cette balance (étape III : *la mesure*). Cet étalonnage, pratiqué par les élèves eux-mêmes, est une activité scientifique qu'ils rencontreront de nombreuses fois ultérieurement. Elle est beaucoup plus riche que le simple apprentissage de la lecture d'une graduation.

B.1. Balance romaine (école primaire – CM 2).

Présentation générale

Cette séance, conçue au départ comme succédant à une autre activité non présentée ici, peut être abordée directement, éventuelle-

ment en liaison avec l'enseignement de l'histoire (voir la note historique en Annexe 2).



Les élèves constatent d'abord la difficulté d'estimer l'ordre de grandeur d'une masse en la soupesant, et, de ce fait, la nécessité d'utiliser un instrument. En effet, les objets donnés à soupeser sont apparemment identiques, ce qui conduit à dissocier la grandeur «masse» des autres grandeurs attachées à l'objet. L'utilisation d'une balance romaine permet d'accéder au rapport des masses de deux objets et, donc, après le choix d'un objet étalon, d'obtenir une mesure de ces masses. En effet, la balance romaine met les élèves en présence d'une relation de proportionnalité entre la masse (*le poids*) de l'objet mis dans le plateau de la balance et le déplacement du contrepois sur la tige.

Celle-ci peut être graduée en fonction de la masse d'un étalon choisi arbitrairement (*exemple : livre dont l'école possède plusieurs exemplaires de même masse*) et la graduation est linéaire. Les unités légales peuvent ensuite être introduites. Les deux dernières phases sont envisagées comme évaluation formative.

Notions mathématiques en jeu : Rapport de masses, proportionnalité : relation entre masse et graduation sur une droite.

Compétences visées : Utiliser des instruments pour mesurer la masse d'un objet physique. Exprimer le résultat d'un mesurage par un nombre ou un encadrement, l'unité étant imposée ou choisie de façon appropriée. Poser des questions précises et cohérentes à propos d'une situation d'observation ou d'expérience.

Objectifs : Amener les élèves à donner à la grandeur *masse* sa signification, d'abord à partir de la seule perception, puis par comparaison de masses à l'aide d'une balance romaine.

Matériel :

— Balances romaines fabriquées par l'enseignant seul, par l'enseignant avec les élèves, ou fournies dans une « valise ».

— Série d'objets étalons identiques (*exemple : des livres*) choisis de manière à pouvoir réaliser l'équilibre avec un certain nombre de ces objets, le contrepois de la balance étant à l'extrémité de la tige.

— Divers objets dont on déterminera le poids en fonction des objets précédents, pris pour unité : sept pots ou barquettes opaques identiques et numérotés (l'élève ne doit pas voir de quoi sont remplis les pots) composés comme suit :

- pot n°1 rempli de sable ;
- pot n°2 rempli de polystyrène ;
- pot n°3 rempli de clous ou vis ;
- pot n°4 rempli de farine ;
- pot n°5 rempli de lentilles ;
- pot n°6 vide ;
- pot n°7 rempli de terre.

Prévoir ce matériel multiplié par le nombre de groupes prévus pour les phases de recherche en groupes.

Description de la balance romaine classique.

La balance romaine classique est composée d'une règle métallique de forme irrégulière, munie de deux couteaux dont les arêtes sont orientées en sens inverses. Un anneau entourant le premier couteau sert à soutenir la balance. L'autre couteau porte un crochet auquel sera accroché le corps à peser (ou un plateau dans lequel il sera posé). Un contrepoids peut glisser le long de la partie droite de la tige, qui est graduée, après étalonnage.

Lorsque la balance est à vide (aucun objet dans le plateau, ou suspendu au crochet), la règle est en équilibre horizontal avec le contrepoids au zéro de la graduation. Lorsqu'un objet est mis dans le plateau (ou suspendu au crochet), il faut déplacer le contrepoids pour que la règle soit en équilibre horizontal et ce déplacement est proportionnel au poids de l'objet placé dans le plateau (voir en Annexe 1 l'étude théorique). On lit alors sur la graduation le poids de l'objet.

Matériel pour réaliser une balance romaine :

Tige métallique filetée.

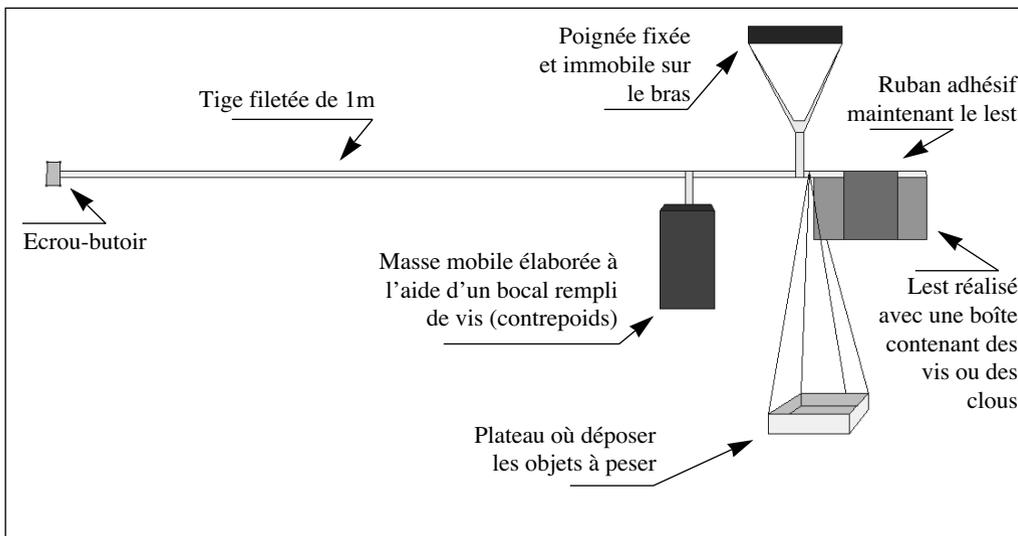
Anneau de suspension à placer en un point fixe de la tige.

Plateau et lest à l'extrémité la plus proche de l'anneau de suspension (il faut que l'ensemble lest + plateau soit plus lourd que la tige)

Contrepoids à déplacer sur l'autre partie de la tige (exemple : boulon que l'on vissera plus ou moins, ou flacon en plastique suspendu, dans lequel on introduira de la pâte à modeler ou des vis pour réaliser l'équilibre à vide).

Analyse de la tâche

On peut s'attendre à ce que les résultats du rangement par soupesée des sept pots, effectué individuellement par les élèves au cours d'une autre activité pratiquée en autonomie, présentent quelques divergences, plusieurs pots



ayant des masses assez voisines. La constatation de ces divergences conduit à l'utilisation d'un instrument qui est cette fois-ci la balance romaine. Dans cet instrument, la masse de l'objet pesé est finalement mise en relation avec une longueur, et l'on peut s'attendre à ce que la compréhension de cette correspondance ne soit pas immédiate. C'est pourquoi la séquence comporte des étapes et la progression est assez lente.

Dans leurs essais d'utilisation de la balance romaine pour ranger les pots par ordre de masses croissantes, on peut s'attendre à ce que les élèves rencontrent des difficultés : c'est après plusieurs tentatives qu'ils voient, à l'aide des pots de masses déjà rangées avec certitude (par exemple les pots n°6 et n°3), que le déplacement du curseur dépend de la masse de l'objet pesé ; ils ne pensent pas d'emblée à repérer la position du curseur correspondant à chaque pot. Finalement ces manipulations leur permettent de faire l'hypothèse de l'existence d'un lien simple entre la position du contrepoids et la masse (*le poids*) de l'objet placé dans le plateau : « *plus l'objet est lourd, plus il faut éloigner le contrepoids* » et de donner un rangement des pots. Cependant, ils ne peuvent encore déterminer le rapport des masses de deux pots (ou donner une mesure de ces masses).

Suite à une séance précédente (*Mobile*, non présentée ici), on peut s'attendre à ce que les élèves proposent l'utilisation d'objets référents (livres, billes, vis). Dans un premier temps, il se peut que certains élèves cherchent à faire une comparaison directe, en remplaçant, dans le plateau, le pot par des objets référents. Cette stratégie peut leur permettre de répondre à la question posée, mais elle n'utilise pas les propriétés particulières de la balance romaine. Cependant, comme ils vien-

ent d'utiliser le déplacement du contrepoids selon la masse de l'objet placé dans le plateau, on peut s'attendre à ce que des élèves pensent à graduer la tige en nombres d'objets référents, en faisant des marques-repères sur la tige (*les graduations 1, 2, 3, ... signifiant « masse équivalant à celle de 1, 2, 3, ... objets-étalons*). Si ce n'est pas le cas, l'enseignant doit proposer cette manipulation.

Certains élèves remarqueront que, lorsqu'on ajoute un objet identique, le contrepoids doit être déplacé d'une quantité égale. La discussion collective conduira à considérer les déplacements réguliers *depuis le 0*, associés au nombre total d'objets placés dans le plateau. Le déplacement depuis le zéro est proportionnel au nombre d'objets (*le déplacement depuis le zéro pour 2, 3, 4, ... objets est 2, 3, 4, ... fois plus grand que celui pour 1 objet*). On peut alors donner, au moins par un encadrement, une mesure de la masse d'objets inconnus, la masse de l'étalon étant prise comme unité. A cause de la proportionnalité entre la masse pesée et la distance au zéro de la position du contrepoids, la graduation peut être complétée de façon linéaire entre les traits déjà tracés, et les mesures peuvent être affinées. Il faut s'attendre à ne pas pouvoir (ou à pouvoir très difficilement) donner une mesure de la masse de la boîte vide, trop légère pour cette balance ; en effet, lorsque cette boîte est placée dans le plateau, l'équilibre est obtenu avec le contrepoids très proche du zéro. Cette difficulté peut conduire à présenter différentes sortes de balances, plus ou moins sensibles, pour objets plus ou moins lourds, et, par exemple, la balance « pour peser les cheveux » étudiée dans la situation suivante.

La différence des étalons d'un groupe à l'autre conduit à voir l'intérêt d'un étalon commun, donc à introduire les mesures légales,

ne serait-ce que pour comparer les résultats obtenus sans devoir recommencer les manipulations. L'utilisation d'un ou deux objets de masses opportunément choisies (100g, 200g, 500g, selon la balance fabriquée) ou, à défaut, la donnée (ou la mesure sur une balance à lecture directe) de la valeur en grammes des masses des objets ayant servi à l'étalonnage, permet de graduer, en grammes ou en hectogrammes, la tige des balances.

Les mesures des masses des objets avec les différentes balances peuvent alors être confrontées avec succès, les écarts éventuels pouvant être expliqués ; ce sera l'objet des trois dernières phases, qui constituent ainsi une évaluation formative (le résultat de la mesure de la masse d'un objet ne dépend pas des balances utilisés, compte tenu de la précision des instruments) .

Déroulement possible

Phases d'activité consignes	Activités des élèves Compétences sollicitées	Difficultés prévisibles Interventions de l'enseignant
<p>1ère Phase. Travail collectif : Appropriation de la tâche <i>Consigne : J'ai disposé 7 pots numérotés au fond de la classe. Vous irez les soupeser chacun à votre tour, les remettrez à leur place et vous les noterez sur une feuille du plus léger au plus lourd. Attention, pour que l'expérience fonctionne, il ne faut pas donner vos résultats à vos camarades.</i></p>	<p>Les élèves reformulent la consigne.</p>	<p>Consigne à donner avant une séquence en autonomie qui précède la séance à proprement parler ; ainsi les élèves pourront manipuler individuellement les pots.</p>
<p>2ème Phase. Travail individuel</p>	<p>Les élèves tentent de ranger les pots suivant leur masse</p>	<p>Ici, les élèves sont confrontés au problème de la transitivité et donc à la nécessité de réaliser plusieurs pesées et contre pesées. De plus, l'élève sera sûrement confronté au problème du temps limité pour réaliser cette manipulation car elle n'est qu'une parenthèse dans un autre travail qu'il a à faire.</p>

<p>3ème Phase. Travail collectif</p>	<p>Les élèves confrontent les résultats des rangements effectués. Constatation de convergences pour le pot n° 6 et le pot n° 3 (les 2 extrêmes) et de divergences de résultats pour les autres contenants. Recensement des hypothèses pouvant expliquer ces divergences : les problèmes de la soupesée.</p>	<p>Il serait intéressant d'élaborer un recensement des résultats en regroupant les résultats identiques sous la forme d'un tableau afin de mettre en évidence les convergences et les divergences.</p> <p>Les difficultés éprouvées et les stratégies mises en place sont mises en évidence.</p>
<p>4ème Phase. Travail collectif <i>Consignes : La soupesée n'étant pas efficace, il nous faut trouver une stratégie ou un outil efficace. Voici un type de balance que nous n'avons pas encore étudié et qui vous rappellera votre travail en histoire puisque c'est une copie de balance romaine.</i></p>	<p>Certains élèves peuvent proposer les balances classiques ou le «portemanteau» qui sert de balance à plateaux.</p>	
<p>5ème Phase. Travail par groupes de trois : Appropriation du matériel <i>Par groupe, vous allez ranger les pots du plus léger au plus lourd en utilisant cette balance.</i></p>	<p>Les groupes utilisent la balance pour ranger les pots suivant leur masse.</p> <p>Les élèves émettent l'hypothèse que plus l'objet pesé est lourd, plus le contrepoids est éloigné du point de suspension.</p>	<p>Difficultés attendues :</p> <ul style="list-style-type: none"> • ne pas comprendre que l'on cherche l'équilibre de la balance à l'horizontale ; • ne pas penser à mettre un repère pour noter les positions du curseur sur la tige ; • ne pas voir que le déplacement du curseur est relatif à la masse de l'objet pesé. <p>L'enseignant profite de chaque avancée dans les groupes pour éventuellement faire des mini synthèses afin de réorienter les recherches de groupes qui seraient en difficulté.</p>

<p>6ème Phase. Travail collectif</p> <p><i>Consigne :</i> <i>Quels sont vos résultats ?</i></p>	<p>Les groupes donnent leurs résultats. Maintenant, ceux-ci sont beaucoup plus convergents ; s'il existe encore des différences de résultats, elles peuvent être dues aux proximités des masses pesées et aux approximations de manipulation.</p>	<p>Mettre en évidence les hypothèses émises et les difficultés liées à la manipulation de cette balance.</p>
<p>7ème Phase. Recherche par groupes de 3</p> <p><i>Consignes : Maintenant que vous avez rangé ces pots, pouvez-vous trouver une stratégie afin de savoir combien de fois le pot le plus léger est plus léger que les autres.</i></p>	<p>Les élèves doivent étalonner la balance afin de mettre en place des rapports entre les contenants.</p> <p>Les élèves se rappellent l'utilisation d'objets référents tels que les livres, les billes, ...</p>	<p>Pistes possibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> • essai de recherche d'une relation entre la masse de l'objet et la position du contrepoids sur le bras de la balance ; • essai de mesurage en utilisant des référents arbitraires. On fait référence à des situations déjà rencontrées afin de recentrer la recherche. <p>Le passage de la comparaison directe à la comparaison indirecte est en effet assez difficile avec ce type de matériel et les groupes ont beaucoup de difficultés à utiliser leurs connaissances antérieures.</p>
<p>8ème Phase. Travail collectif</p> <p><i>Consignes : Quelles sont les stratégies que vous avez utilisées pour mesurer les masses des pots ?</i></p>	<p>Les groupes confrontent les stratégies de mesurage :</p> <ul style="list-style-type: none"> • utilisation des différentes positions du curseur sur le bras pour trouver un rapport entre les masses des objets. - certains élèves font remarquer que les écarts entre les positions sont irréguliers. • d'autres mesurent la distance entre le curseur et le point de suspension et émettent l'hypothèse de la proportionnalité. • utilisation de référents arbitraires qui amènent à l'étalonnage du bras. 	<p>Constatation de l'inefficacité de cette stratégie car les écarts ne sont pas réguliers, les objets n'étant pas de même masse.</p>

<p><i>Comment aviez-vous fait avec le portemanteau ?</i> Si la classe n'a pas été confrontée à l'activité «Découvrir l'objet» : <i>Pour mieux comparer les poids des pots, il faut les peser, les adultes utilisent des masses marquées mais nous n'en avons pas assez.</i> <i>Quels objets pourrions-nous utiliser pour peser les boîtes ?</i></p>	<p>Étalons pouvant être proposés : des livres de classe, crayons ou craies (trop légers à l'unité), billes, etc.</p>	<p>Ici on pourrait amener les élèves à utiliser des étalons arbitraires.</p>
<p>9ème Phase. Recherche par groupes de 3 <i>Consigne : Chaque groupe utilisera un ensemble d'objets différent pour inscrire des repères sur le bras.</i></p>	<p>Les groupes procèdent à un étalonnage du bras en utilisant un référent différent dans chaque groupe. Les repères seront effectués à l'aide de petits morceaux d'adhésif coloré pour électriciens.</p>	<p>L'enseignant aide les groupes à réaliser les premiers étalonnages. Il suggère de mesurer la distance entre le curseur du contrepois et le zéro.</p>
<p>10ème Phase. Travail collectif</p>	<p>Comparaison des étalonnages réalisés. Les élèves remarquent la régularité des écarts pour chaque nouvelle pesée ; les différents écarts qui existent sur les bras selon les étalons utilisés.</p>	<p>Ici la relation de proportionnalité entre les masses (poids) et les écarts au zéro de la graduation est mise en évidence.</p>
<p>11ème Phase. Travail par groupes de 3 <i>Consigne : Maintenant, vous allez peser chaque pot en utilisant votre balance. Vous noterez le poids de chacun d'eux sur votre affiche.</i></p>	<p>Utilisation de la balance romaine maintenant étalonnée. Le report des mesures sur les affiches peut amener un problème, par exemple celui des unités utilisées qui ne sont pas toujours notées, ce qui rend les comparaisons d'une affiche à l'autre impossibles.</p>	<p>Faire remarquer que les mesures ne peuvent être considérées qu'avec leur unité. Donner un simple nombre n'est pas suffisant.</p>

12ème Phase.**Phase collective : structuration**

Les élèves expliquent le fonctionnement de la balance romaine et font ressortir la nécessité de se référer à l'unité utilisée pour peser tout objet.

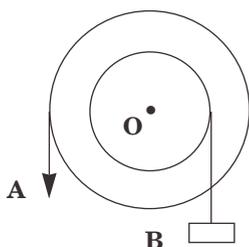
Certains groupes remarquent que les masses peuvent être exprimées avec des nombres à virgule puisque l'on arrive à dire exactement la position du contrepoids sur le bras.

Intérêts de la balance romaine : on n'a plus besoin de référents une fois que la balance est étalonnée et on peut obtenir des lectures plus précises des masses sur le bras de la balance.

Il est à remarquer que la compréhension de l'utilisation de cette balance est plus ardue pour les élèves car elle les oblige à se référer à un étalon qui n'est pas réellement présent mais qui n'existe plus que par sa représentation écrite sur le bras de la balance.

Annexe 1 (Balance romaine)

Théorie L'effet de rotation d'une force est mesuré en première approche par le produit de son intensité par la distance de sa ligne d'action à l'axe de rotation². Ainsi, pour ouvrir une porte lourde, il faut pousser beaucoup plus fort près des gonds que sur la poignée.



Les deux poulies ci-contre sont solidaires et tournent autour de l'axe O.

Si le rayon de la poulie extérieure est deux fois plus grand que celui de la poulie intérieure, il faudra, en A, tirer sur la corde avec une force deux fois plus faible que le poids de l'objet placé en B, au bout d'une corde passant sur la poulie intérieure, pour soulever cet objet.

Un objet solide qui peut tourner autour d'un axe, comme la porte ou la poulie, est en équilibre quand l'effet de toutes les forces qui tendent à le faire tourner dans un sens (la somme de leurs «moments») compense l'effet de toutes les forces qui tendent à le faire tourner dans l'autre sens (la somme de leurs «moments»).

La tige de la balance romaine est un solide qui peut tourner autour du point de suspension O.

La tige est en équilibre quand l'effet des forces qui la font tourner dans un sens compense l'effet des forces qui la font tourner dans l'autre sens :

² On l'appelle en physique le *moment de la force par rapport à l'axe de rotation*.

A vide, le poids p du (plateau + lest) équilibre le poids P du contrepois, exercé en O' , plus le poids R de la tige, exercé en G :

$$p \cdot OA = P \cdot OO' + R \cdot OG$$

Le corps de poids X étant placé dans le plateau, le contrepois est déplacé en D pour obtenir l'équilibre. On a :

$$p \cdot AO + X \cdot AO = R \cdot OG + P \cdot (OO' + O'D)$$

D'où, par différence :

$$X \cdot AO = P \cdot O'D$$

Le poids cherché est *proportionnel* au déplacement du contrepois à partir de la position qu'il occupe quand la balance romaine est en équilibre sans charge. C'est pourquoi les divisions de la tige sont équidistantes, pour des variations égales de X .

Annexe 2 (Balance romaine)

Note historique sur la balance romaine

La balance à deux plateaux accrochés aux extrémités d'un fléau, et suspendue par le milieu³ est très ancienne et présente dans toutes les civilisations (Égypte, Mésopotamie, etc.). Dès que les hommes ont fait du commerce, sous la forme de troc, le besoin s'est fait sentir de peser des marchandises. En Égypte par exemple, on trouve dans des écrits datant de 2 800 av. J.C. les premières représentations d'une balance à fléau et à deux plateaux, que l'on soulève avec la main pour faire des pesées.

La balance « romaine » apparaît aux alentours du II^e ou du III^e siècle av. J.C. Elle a l'avantage qu'elle ne nécessite pas de poids pour son fonctionnement, contrairement à la balance à fléau à bras égaux, puisque l'équilibre d'une charge est obtenu en faisant coulisser un curseur sur la tige graduée de l'instrument. Sous sa forme première, c'est une simple barre divisée en deux parties inégales. Le bras long était pourvu de crans (pour fixer le poids mobile) ; dans le bras court, un crochet permettait de suspendre le corps à peser, soit en l'accrochant directement, soit en le posant sur un plateau⁴.

Les Romains ont donc utilisé la *libra* qui est la balance à bras égaux à deux plateaux, mais surtout la *statera*, qui est notre « balance romaine ». Selon l'*Histoire générale des techniques*, c'est leur instrument de mesure par excellence, mais elle a été utilisée aussi en Chine, peut-être beaucoup plus tôt selon certains auteurs.

³ La balance « portemanteau » que nous avons fabriquée ressemble à ces premières balances.

⁴ Le modèle que nous pouvons construire en classe reproduit ce type primitif.

Les poids utilisés par les Romains étaient les suivants : la livre (*libra* ou *pondus*) qui valait 327,45 g ; l'once (*uncia*) qui valait 1/12 de livre, soit 27,288 g ; le scrupule (*scrupulum*) qui valait 1/24 d'once, soit 1,137 g. Le scrupule était le plus léger des poids, mais les monnayeurs pouvaient faire des approximations inférieures à cette unité. Il existait des *statera* de diverses dimensions, depuis des petites pour les orfèvres ou les monnayeurs, jusqu'à des très grandes pour les marchands de bois. Certaines étaient graduées de façon différentes sur plusieurs faces du fléau, et portaient plusieurs crochets de suspension, ce qui fournissait plusieurs fourchettes de poids dans lesquelles la balance pouvait être utilisée (par exemple de 1 à 3 livres, ou de 10 à 30 livres).

Il faut noter que l'adjectif « romaine », dont nous qualifions cette balance, n'a pas pour origine son utilisation par les Romains. Son origine est le mot arabe *r_mm_n_h* qui veut dire *grenade* (le fruit), puis *peson* (le poids qui coulisse le long du curseur et qui avait la forme d'une grenade) ; ce mot est devenu *romana* en ancien provençal et en espagnol (en occitan), puis *romanne* au XV^e siècle, avant de devenir *romaine*.

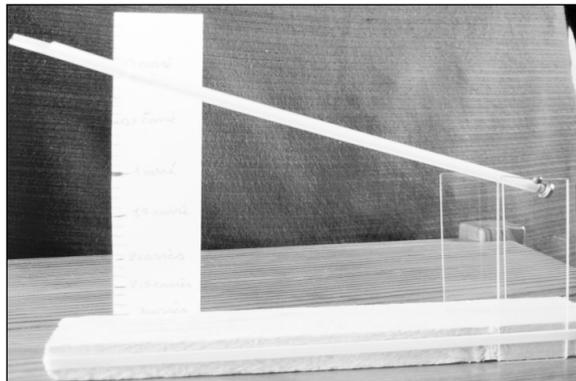
Sources bibliographiques :

- Histoire générale des techniques (collection sous la direction de Maurice Daumas), PUF, 1962, Tome I Les origines de la civilisation technique, chapitre IV : L'apport technique des Romains, p. 241.
- Dictionnaire des découvertes scientifiques, par Thomas de Galiana, Larousse, 1968, article *Balance*, p. 68.
- Le Grand Robert (dictionnaire), article *Romaine (balance)*.

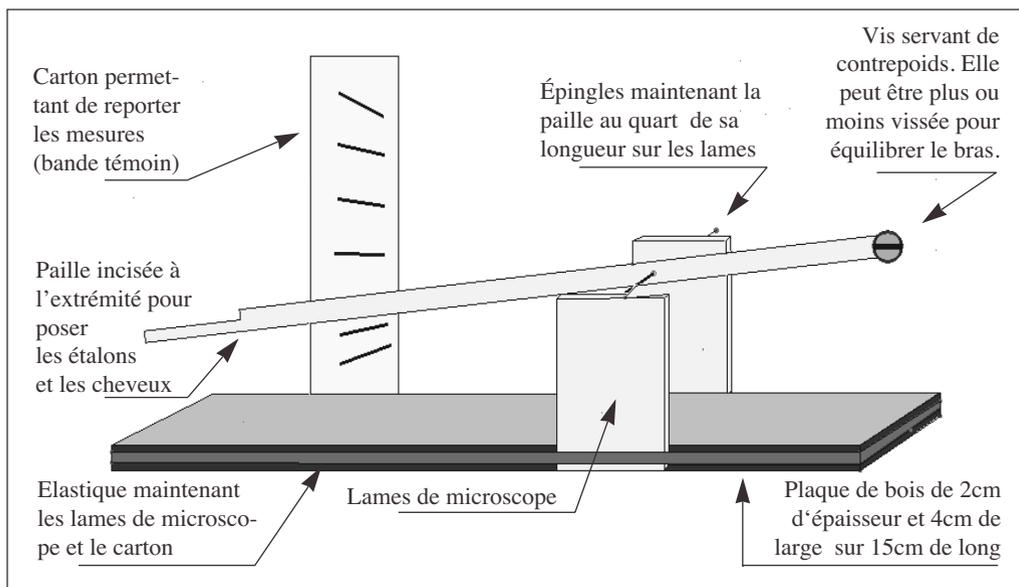
B.2. Peut-on peser un cheveu ? (école primaire : CM 2)

Il s'agit de permettre aux élèves de donner à la grandeur masse sa signification à travers la comparaison d'objets apparemment impondérables et d'étalonner un instrument de mesure de masses.

Dans cette activité, les élèves utilisent une balance qui permet de peser des objets très légers, notamment des cheveux. Ils constatent que même des objets apparemment impondérables ont une masse, ce qui met en évidence l'existence de cette grandeur et favorise sa conceptualisation. La manipulation de la balance et son étalonnage utilisent les propriétés de la grandeur



mesurable qu'est la masse (égalité, additivité et rapport de masses). De plus, la grande sensibilité de la balance implique des précautions particulières dans son usage, dont les élèves prennent conscience à cette occasion.



Matériel : Matériel nécessaire pour fabriquer la balance selon le schéma ci-dessus⁵ :

Visser la vis à l'extrémité de la paille, jusqu'à peu près la moitié de sa longueur. Déterminer approximativement sur un doigt ou un crayon le point d'équilibre. Une longue aiguille (remplacée sur le schéma par deux épingles) traversera la paille en ce point, juste au-dessus de l'axe longitudinal de la paille. Quand l'aiguille est en place à travers la paille, puis mise sur son support (les lames de microscope), ajustez la vis (en vissant ou dévissant) de sorte que la paille pointe légèrement vers le haut lorsque aucun objet n'est déposé sur l'extrémité entaillée. L'échelle (bande témoin) est fixée également dans l'élastique.

Prévoir de plus une pince à épiler par groupe et une paire de ciseaux par élève.

⁵ La balance utilisée dans cette activité est inspirée du modèle donné dans *Recueil d'expériences de Physique*, Physical Science Study Committee, Dunod, Paris, 1964, p. 11.

Notions mathématiques en jeu :

- Rangement d'objets selon leur masse.
- Rapport de masses.
- Relation entre masse et longueur (étalonnage et graduation).

Compétences visées

- Utiliser des instruments pour mesurer la masse d'objets physiques, ici une balance très sensible.
- Exprimer le résultat d'un mesurage par un nombre ou un encadrement, l'unité étant choisie de façon appropriée.

Analyse de la tâche : Les élèves, par groupes de trois, sont invités à comparer les masses de l'un de leurs cheveux à l'aide de la balance. La manipulation de la balance nécessite du soin et il faut passer un peu de temps

pour que les élèves se familiarisent avec son fonctionnement. En particulier, le report, sur la bande témoin, de la position de la paille qui sert de bras de levier, peut nécessiter l'utilisation d'une règle ou d'un double décimètre, placé le long de la paille ou le long de la bande témoin. Confrontés à la sensibilité de la balance, certains élèves peuvent proposer de mettre la balance dans une boîte, de manière à diminuer l'influence des courants d'air. Le rangement des trois cheveux, du plus léger au plus lourd, ne présente pas ensuite de difficultés particulières.

Après avoir effectué ce rangement, les élèves, invités à donner une mesure de la masse de ces cheveux, sont conduits à étalonner leur balance en utilisant une unité arbitraire. Cela s'introduit naturellement à la suite de l'une des activités faites précédemment. Le choix de l'unité arbitraire confronte les élèves

une nouvelle fois avec la grande sensibilité de la balance. Après mise en commun des diverses tentatives, ils sont invités à prendre comme unité la masse d'un petit carreau de papier, avec laquelle ils peuvent étalonner la bande témoin. Il faut noter que les distances au zéro sur la bande témoin ne sont pas rigoureusement proportionnelles aux masses déposées à l'extrémité de la paille, c'est-à-dire que la graduation établie par l'étalonnage ne montre pas des écarts égaux en passant de 0 à 1, à 2, à 3 petits carreaux, bien qu'ils soient assez voisins. La non-proportionnalité oblige à étalonner complètement la bande. Les élèves peuvent ensuite donner une mesure de la masse de leurs cheveux avec l'unité «masse d'un carreau de papier». Certains groupes, afin de donner une mesure plus précise, fragmentent leur carreau de papier, et indiquent des moitiés et des quarts d'unités. La mise en commun permet de valider cette pratique.

Déroutement possible

Phases d'activité consignes	Activités des élèves	Difficultés prévisibles Interventions de l'enseignant
<p>1ère phase. Travail par groupes de 3 : Appropriation de la tâche</p> <p>Consigne : <i>Vous devez fournir chacun un cheveu, puis trouver lequel de vos cheveux est le plus léger, lequel est le plus lourd. Si vous pouvez, faites un rangement du plus léger au plus lourd</i></p>	<p>Chaque groupe est pourvu d'une balance.</p> <p>Les élèves s'initient au fonctionnement de la balance.</p> <p>La longueur du cheveu à peser a-t-elle de l'importance ?</p>	<p>La manipulation de la balance nécessite une dextérité très fine ;</p> <p>le report de la position du bras sur la bande témoin nécessite l'utilisation intermédiaire du double décimètre ;</p> <p>le décalage du zéro du double décimètre peut fausser les résultats, il faut que les élèves utilisent toujours le même.</p> <p><i>On a choisi ici de peser les cheveux entiers.</i></p>

<p>2ème phase. Travail collectif : échanges entre élèves</p>	<p>Echanges sur les difficultés rencontrées et les découvertes effectuées dans chaque groupe. Il est assez aisé de ranger les cheveux selon leur masse car il n'y a que trois échantillons. Les élèves profitent de cette confrontation pour élaborer ou améliorer leur manipulation de la balance.</p>	<p><i>Quelles difficultés avez-vous rencontrées ? Avez-vous mis en place des stratégies pour comparer les masses pesées ?</i></p>
<p>3ème phase. Travail par groupes :</p> <p><i>Peut-on savoir maintenant combien de fois le cheveu le plus lourd est plus lourd que les autres ?</i></p>	<p>Les élèves doivent élaborer une stratégie de mesurage de la masse des cheveux. Exemples de stratégies : - utilisation du double décimètre (masse exprimée en cm et mm et mise en place d'une tentative de rapport); - mise en place d'une unité arbitraire permettant d'établir la bande témoin.</p>	<p>Notons que le rapport des masses ne peut pas être obtenu ainsi (voir ci-dessous). Rappeler la nécessité, dans l'activité précédente, d'utiliser des livres ou des billes pour mesurer les masses.</p>
<p>4ème phase. Travail collectif : Échange sur les stratégies utilisées</p>	<p>La mesure des écarts sur la bande témoin à l'aide du double décimètre ne donne pas de rapport utilisable. L'unité arbitraire est difficile à trouver, en effet les balances sont très sensibles et réagissent à la moindre masse ; les élèves proposent divers référents (tailles de crayon, mines de crayon, duvet d'oiseau, etc.).</p>	<p>Faire émerger les avantages et inconvénients pour chaque stratégie. Le double décimètre ne donne pas directement d'indications sur le rapport des masses, car on n'a pas établi de relation entre la longueur sur la bande témoin et la masse à peser.</p>
<p>5ème phase. Travail par groupes</p> <p><i>Pour vous aider à peser les cheveux, je vous propose d'utiliser des carrés de papier que vous découperez dans ce quadrillage.</i></p>	<p>Les élèves reçoivent une feuille de papier quadrillé et quelques carreaux prédécoupés.</p>	

	<p>La question du report des résultats se pose : comment retenir les résultats pour chaque multiple de l'unité ?</p> <p>Selon la sensibilité de la balance, les élèves sont confrontés à la nécessité de multiplier ou de diviser les unités de référence afin d'affiner suffisamment leur étalonnage.</p>	<p>Utilisation de la bande témoin (il peut être nécessaire de montrer aux élèves le report des mesures sur la bande par l'intermédiaire du double décimètre (voire d'un réglet). La sensibilité de la balance peut différer d'une balance à l'autre, il est donc nécessaire que chaque groupe travaille toujours avec la même balance.</p>
--	--	--

<p>6ème phase. Travail par groupes</p> <p><i>Cette fois, vous allez pouvoir dire combien de fois le cheveu le plus lourd est plus lourd que les autres cheveux.</i></p>	<p>Les élèves comparent à nouveau les masses de leurs cheveux mais cette fois-ci en utilisant l'étalonnage pour répondre à la question posée.</p>	
---	---	--

<p>7ème phase. Travail collectif : bilan</p> <p><i>Comment avez-vous utilisé votre balance ? Comment avez-vous réussi à rendre votre étalonnage plus précis ?</i></p> <p>Les élèves comparent les étalonnages réalisés dans chaque groupe.</p> <p>Structuration</p> <p>L'utilisation d'une balance et d'unités appropriées permet de mesurer la masse de tout type d'objet de notre environnement (des «objets» comme la Terre et la Lune posent un autre problème). On peut fractionner une unité en coupant convenablement l'étalon ou alors la multiplier en utilisant plusieurs fois l'étalon de l'unité.</p>
--

Évaluation : Elle peut consister dans la détermination par les élèves, avec leur balance étalonnée, de mesures de la masse d'objets préparés et pesés à l'avance par l'enseignant ; les résultats seront donnés en termes de multiples et sous-multiples de l'unité utilisée pour l'étalonnage.

Prolongement possible : déterminer la masse en grammes (milligrammes) de l'étalon choisi, de manière à exprimer la masse des cheveux en unités légales. Pour cela, il faudra déterminer la masse de la feuille de papier entière, et déterminer le nombre de petits carreaux contenus dans cette feuille.

En guise de conclusion

Nous avons présenté dans les pages qui précèdent trois situations parmi plus de trente décrites et analysées dans l'ouvrage auquel nous avons participé. Ces situations sont des exemples des activités que nous proposons pour que le travail avec les grandeurs soit valorisé et devienne autre chose qu'une manipulation de formules et de tableaux sans signification *a priori* pour les élèves, et donc propice à toutes les confusions qui perdurent au collège et même au lycée.

Chacune des grandeurs est construite à partir de comparaisons d'«objets» suivant l'une de leurs propriétés, celle qui est justement la grandeur que l'on veut définir, préalablement à la mesure et à l'utilisation de formules.

Cette construction des grandeurs avant la mesure leur donne du sens. Les comparaisons de terrains selon leur aire préviennent ou corrigent la confusion aire-périmètre. Les comparaisons des contenances de divers récipients par transvasement corrigent les confusions entre, par exemple, hauteur du liquide dans le récipient et contenance du récipient. La nécessité du mesurage s'impose ensuite dans certains cas pour répondre à un problème concret. La construction de l'instrument de mesure, parfois et l'expérimentation du mesurage, en général, complètent la construction de la grandeur et permettent d'aborder ensuite la mesure avec des unités arbitraires adaptées au contexte, puis les unités légales.

Nous espérons contribuer ainsi, au delà de l'école primaire, à ce que les élèves comprennent mieux les problèmes posés et, de ce fait, prennent plaisir à les résoudre.