Évidence, interprétation et argumentation scientifique: une activité en 9e année au sujet de la chute des corps[1]

Luis Radford[2], Marc Savage[3] et Louis Roberge[4]

Résumé

Dans cet article nous analysons la discussion à laquelle a conduite une activité qui visait à amener les élèves de 9e année à formuler des hypothèses, à mener une expérience et à en interpréter les résultats. L'activité était basée sur le problème classique de la chute de corps. Pour ce faire, on a considéré le temps que prennent des balles ayant différents poids à parcourir une certaine hauteur. Les élèves ont lancé des balles depuis le 2e, 3e et 4e étage de l'école et ils ont élaboré des graphiques qu'ils ont interprétés par la suite. Nous nous intéressons à la manière dont l'évidence est utilisée dans l'élaboration de l'argumentation scientifique.

1. Introduction

Dans son œuvre *Historia de las Indias*, écrite au 16e siècle, le prêtre Bartolome de Las Casas nous livre le récit des péripéties que les espagnols ont vécues lors du voyage conduit par l'Amiral Cristophe Colomb en quête de l'Inde. Et il remarque, non sans admiration, mais aussi avec un certain amusement, comment tout ce que voit ce fameux Martin Alonso, capitaine du navire la *Pinta*, est interprété par celui-ci comme preuve de ce qu'il veut voir, à savoir, que l'île sur laquelle il débarque n'est pas en fait l'île de Cuba mais bien une terre ferme faisant partie du royaume du Grand Khan. Las Casas dit :

---

[1] Cet article fait partie d'un programme de recherche subventionné par le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH/SSHRC) du Canada.
[2] École des sciences de l'éducation, Université Laurentienne.
[3] École secondaire Macdonald-Cartier.
[4] École secondaire Macdonald-Cartier.

> C’est merveille de voir comme, quand un homme désire beaucoup quelque chose et s’y attache fermement dans son imagination, il a l’impression à chaque instant que tout ce qu’il entend et voit plaide en faveur de cette chose.[5]

Mais il ne s’agit pas simplement d’un caprice non fondé. En effet, Martin Alonso a soigneusement étudié la carte que le cartographe florentin Marco Paulo a envoyée à Colomb. Et il croit reconnaître, parmi les lignes et les tracés que la carte lui offre, les parages où il se trouve. « C’est ainsi », poursuit Las Casas, « que tout ce que par signes les indiens lui disaient, [Alonso] l’arrangeait et l’attribuait à ce qu’il souhaitait : que cette terre était soit le royaume du Grand Khan ou une terre avoisinante ». (*ibid*. p. 224)

Cet épisode fournit un bel exemple d’une situation fréquente : l’interprétation qu’on fait d’un événement dépend de façon décisive des idées qu’on se fait de l’événement en question. Mais cet exemple a un autre intérêt pour nous ici. En plus de nous rappeler que l’interprétation est consubstantielle de son cadre conceptuel, il soulève le problème épistémologique de la transformation à laquelle l’évidence doit être soumise dans la construction du discours scientifique. Alors que dans maintes occasions les sens nous donnent pour ainsi dire une première approximation de l’objet sur la base de laquelle une interprétation est possible, il s’avère nécessaire, pour arriver à une conceptualisation plus riche, de voir cet objet *autrement*. Le dépassement d’une première conceptualisation de l’objet menant à son insertion dans un discours scientifique nouveau pour l’élève apparaît ainsi comme un mouvement se situant à l’intérieur d’une transformation des catégories de l’« évidence ». L’argumentation scientifique doit prendre l’évidence non pas en tant que telle, mais comme évidence « théorisée ».[6]

L’objet de cet article est d’examiner, à la lumière d’une activité de salle de classe, le rôle de l’évidence et de l’interprétation dans la construction du discours scientifico-

---

[5] Bartolomé de Las Casas, *Historia de las Indias*, Fondo de Cultura Económica, México, 1995, Vol. I, Chapitre 44, p. 223).

[6] Le problème que nous étudions ici a été s’inspire du travail classique de Fleck (voir Fleck, L. (1979) *Genesis and Development of a Scientific Fact*, Chicago and London: The University of Chicago Press) ainsi que d’autres travaux d’orientation anthropologique dont celui de Latour et Woolgar (voir Latour, B., Woolgar, S. (1979) *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Beverly Hills/London: Sage Publications) et celui de O'Loughlin (voir O'Loughlin, M. (1992) Rethinking Science Education: Beyond Piagetian Constructivism Towards a Sociocultural model of Teaching and Learning, *Journal of research in science teaching*, 29 (8), pp. 791-820).

mathématique dans une classe de 9e année au moment où les élèves abordaient l'étude des fonctions non affines[7]. Comme préalable à cette activité les élèves avaient participé à une autre activité dont le but était d'étudier le rebondissement d'une balle[8]. À cette occasion, ils avaient utilisé des calculatrices à capacité graphique. Par ailleurs, les élèves avaient suivi quelques leçons ayant pour but d'interpréter des graphiques de quelques fonctions non affines[9]. Pour aborder l'étude des fonctions non affines, nous avons demandé aux élèves de réfléchir sur un phénomène très classique –celui de la chute des corps– dans un environnement technologique plus rudimentaire : outre un tableau de prises de données (contenu dans le « document d'expérimentation » sur lequel nous allons revenir plus tard), on a mis à leur disposition des balles de volume similaire mais de poids différent, des chronomètres et des rubans à mesurer.

2. Déroulement

L'activité a été complétée en trois jours (trois périodes de 40 minutes). Elle a été divisée en deux parties :

- Partie A : « Le temps de chute d'une balle » et
- Partie B, « Le temps de chute d'une balle sur une échelle réduite ».

Deux classes de 9e année ont participé à l'activité.

Jour 1 : Début de la Partie A de l'activité

Dans chacune des classes, la partie A a commencé avec la présentation par l'enseignant de l'objectif général de l'activité, cet objectif étant d'examiner, d'un point de vue scientifique, la chute des corps et le rôle de la masse dans le temps de chute. Plus spécifiquement, l'enseignant a expliqué que les objectifs étaient les suivants :

---

[7] Une relation entre les variables X et Y est dite *affine* si, pour chaque intervalle de la variable X, Y augmente toujours (ou diminue toujours) le même montant dans chacun de ces intervalles. Du point de vue de la représentation graphique de la relation, cela signifie que Y est une droite (de pente non nulle). Symboliquement, cela veut dire que Y= aX +b (avec a différent de zéro).

[8] Voir "La balle qui rebondit" (Esquisse 9ième, activité 3.3, p. 59.)

[9] Ces leçons, aux cours desquelles les élèves discutaient en petits groupes (2 à 4 élèves par groupe) étaient basées sur des problèmes tirés du manuel scolaire Omnimaths 9ième, pp. 282-285.

1) Déterminer si la relation entre la distance et le temps pour une balle en chute est une fonction affine ou une fonction non affine (c'est-à-dire si c'est ou non une relation linéaire).
2) Déterminer si la masse de l'objet affecte son temps de chute. Est-ce qu'un objet plus lourd prend moins de temps qu'un objet plus léger pour arriver au sol?

L'enseignant a distribué le « document d'expérimentation » aux élèves (voir annexe 1) et il a expliqué qu'il s'agissait de laisser tomber deux types de balles de masse différente du 2^e, 3^e et 4^e étage de l'école.

Pour ce faire, les élèves devaient utiliser :

- 2 chronomètres digitaux
- 3 balles de tennis
- 3 balles de baseball. (Les deux types de balles avaient le même diamètre mais le poids des balles de baseball était le double des balles de tennis).
- Le « document d'expérimentation » contenant une page pour écrire des hypothèses, un tableau pour inscrire les données observées et une page millimétrée pour dessiner un graphique (voir annexe).

Avant de procéder à l'expérimentation, l'enseignant a demandé aux élèves de formuler deux hypothèses : l'une concernait le type de relation entre la hauteur parcourue et le temps de chute des balles; l'autre, l'effet de la masse sur le temps de chute (voir page 1 du « document d'expérimentation »). Ensuite un élève a mesuré la masse d'une balle de tennis et la masse d'une balle de baseball. Chaque élève a noté les résultats (la masse de la balle de tennis était de 53 grammes et celle de la balle de baseball était 107 grammes).

Par la suite, deux élèves désignés par l'enseignant ont commencé par laisser tomber les trois balles de tennis, l'une après l'autre, en attendant à chaque fois le signal des élèves responsables des chronomètres qui, eux ainsi que le reste de la classe, restaient à l'extérieur de l'école, près de la fenêtre. Après avoir lancé les trois balles de tennis, les deux élèves désignés lâchaient les trois balles de baseball au signal des chronométreurs.

Les chronométreurs lisaient à haute voix le temps de chute et le reste de la classe inscrivait les données dans le « document d'expérimentation ». Les balles étaient ramassées par deux élèves qui devaient se rendre ensuite au troisième étage pour aller, à leur tour, laisser échapper les balles. Les élèves ayant laissé tomber les balles depuis le 4^{e} étage descendaient et se joignaient au reste de la classe à l'extérieur de l'école. D'autres élèves (désignés par l'enseignant) ramassaient les balles et allaient par la suite les laisser tomber du 2^{e} étage.

L'activité a été enregistrée sur des bandes vidéo. Nous avons utilisé deux caméras; chaque caméra nous a permis de faire le suivi de deux groupes dans chaque classe et des discussions générales conduites par les enseignants. Par la suite on a procédé à une transcription de ces bandes.

La première journée, les élèves ont eu le temps d'écrire leurs hypothèses d'abord puis de se rendre à l'extérieur de l'école pour y prendre les données, de revenir en salle de classe et enfin de commencer la construction des graphiques (un graphique pour chaque type de balle). L'enseignant a demandé aux élèves de terminer les graphiques à la maison.

Jour 2 : Partie B de l'activité

Dans la partie B, les élèves ont commencé en discutant les résultats de la partie A. Le but didactique était de leur donner un espace à l'intérieur de la leçon pour qu'ils révisent les hypothèses qu'ils avaient émises avant l'expérimentation. La question centrale ici était la suivante : est-ce que les données confirment ou infirment les hypothèses?

Nous nous attendions à ce que les élèves deviennent conscients du fait que leurs hypothèses ne pouvaient être ni confirmées ni rejetées de façon catégorique à la lumière d'un petit nombre de données. En fait, la variable indépendante « hauteur » ne prenait que trois valeurs (correspondant à : la hauteur du 4^{e} étage, la hauteur du 3^{e} étage et la hauteur du 2e étage). Par conséquent, il serait difficile de pouvoir interpréter la nature du graphique de façon concluante à l'aide de trois points sur le plan cartésien.

Or, même si les élèves ne peuvent pas confirmer ou infirmer les hypothèses émises dans la partie A, ils peuvent néanmoins interpréter ces données et raffiner leurs hypothèses. On leur a donc demandé, au début de la partie B, de reformuler ou de réaffirmer leurs hypothèses et de les soumettre à une vérification mieux contrôlée. C'est ainsi que les élèves ont été amenés, dans la partie B, à répéter la même expérience, mais sur une échelle réduite à l'intérieur de l'école. Cette fois, les élèves ont reçu les directives suivantes:

1) Écrire à nouveau les deux hypothèses de la partie A.
2) Préparer un tableau d'observations ayant un minimum de *six* différentes hauteurs.
3) Présenter les résultats sous forme de graphique.
4) Préparer une conclusion d'après leurs résultats (Que peut-on conclure au sujet des deux buts?)

Jour 3 : Fin de la Partie B et Discussion

La troisième journée les élèves ont réexaminé une dernière fois leurs hypothèses et ont écrit une conclusion. On a terminé la partie B avec un échange entre groupes dirigé par l'enseignant dans chacune des classes.

Lors de la Partie B, les élèves ont travaillé en petits groupes (2 à 4 membres par groupe). Chaque groupe a reçu deux chronomètres digitaux et un ruban à mesurer. Les groupes se sont installés soit dans la salle de classe, soit dans le couloir de l'école, pour effectuer l'expérience sur une échelle réduite.

3. Résultats

Dans cette section, nous présentons quelques extraits des discussions que les élèves ont eues. Les commentaires visent à dégager la complexité qui sous-tend la pratique du discours scientifique. Nous verrons comment ce discours se meut entre l'évidence qu'offrent les sens et l'interprétation que les élèves produisent –interprétation qui se transforme peu à peu afin d'acquérir, au long du discours et d'une terminologie plus sophistiquée, un caractère plus scientifique.

Jour 1 : Partie A

Les hypothèses des élèves concernant la relation entre la hauteur et le temps de chute

Avant de présenter les hypothèses élaborées par les élèves, arrêtons-nous sur un point important qui passe pourtant souvent inaperçu dans l'enseignement des mathématiques et des sciences. Le fait de demander aux élèves de formuler une hypothèse au sujet de la relation entre la hauteur et le temps de chute d'un corps suppose déjà une vision très particulière du monde. Cette hypothèse suppose :

1. l'*existence* d'une telle relation,
2. que cette relation est *intelligible*, c'est-à-dire qu'elle peut devenir *connue* et
3. qu'on a les moyens d'*accéder* à sa connaissance.

En demandant aux élèves de formuler cette hypothèse, on place d'emblée l'activité dans une perspective théorique qui amène les élèves à se pencher d'une façon très *particulière* sur le phénomène en question. Outre l'*existence* d'une relation entre hauteur et temps de chute, l'hypothèse suppose que cette relation s'*exprime* en termes d'être ou ne pas être affine. La relation est donc susceptible d'être exprimée à partir de certaines catégories conceptuelles (l'affinité ou la non affinité de la relation). De plus, la relation se dévoile à nous à travers l'expérience. Autrement dit, c'est à travers l'expérience qu'on pourra accéder à la relation. Pour Aristote la question ne se posait pas de la même façon. Le problème n'était pas de savoir s'il y avait une relation entre la hauteur et le temps de chute mais d'*expliquer* pourquoi les objets qu'on lâche tombent. Pour Aristote connaître voulait dire connaître les causes. Et cette cause, il l'a trouvée dans une « prédisposition » qu'ont les objets à revenir à leur position « naturelle », qui était celle de se poser sur terre.

Ainsi, en demandant aux élèves de formuler une hypothèse au sujet de la relation qui existe entre la hauteur et le temps de chute, on les introduit, de façon très subtile et parfois sans nous en rendre compte, à une façon culturelle très particulière de concevoir le monde ; on les introduit à un discours qui a certaines règles et dont l'acquisition pose beaucoup de problèmes. Dans cette conception, on véhicule l'idée d'une certaine réalité qui se donne à nous à travers l'exploration de certains « phénomènes ». Ces phénomènes deviennent intelligibles à travers l'établissement de certaines relations. Ce sont des relations *mesurables* qu'on suppose accessibles à travers l'expérimentation Dans ce contexte, la deuxième hypothèse prend tout son sens. Est-ce qu'un objet *plus lourd* tombe *plus vite* ? On voit que la question est déjà posée à l'intérieur d'une façon précise de voir le monde et ses phénomènes. Le tableau du « document d'expérimentation » est beaucoup plus qu'un outil commode pour garder l'information. C'est en effet une grille à travers laquelle les élèves verront désormais le monde.

Voyons maintenant quelques réponses d'élèves avant l'expérimentation.

Hypothèses formulées par les élèves :

Hypothèses sur le type de relation entre hauteur et temps de chute :

Un tiers des groupes (4/12) n'ont pas formulé d'hypothèse concernant le type de relation (affine ou non affine) entre la hauteur et le temps de chute (voir Tableau 1). Cela semble être un indice de la difficulté qu'il y a, chez les élèves, à imaginer la relation dans les termes proposés. Malgré l'expérience préalable des élèves avec des phénomènes affines (comme celui du rebondissement d'une balle), produire une hypothèse sans avoir fait l'expérience aurait exigé la mise en place de considérations de type qualitatif propres à un raisonnement raffiné (nous reviendrons sur ce point plus tard).

Relation affine	Relation non affine	Pas de réponse
5	3	4

Tableau 1. Distribution des réponses à la formulation des hypothèses sur le type de relation entre la hauteur et le temps de chute.

Parmi les 5 groupes qui disent que la relation sera affine, 3 ne donnent aucune raison et les raisons invoquées par les deux groupes restants sont peu convaincantes. Ces raisons sont les suivantes :

- « car l'espace entre les étages est le même ».
- « car il y aura une sorte de patron ».

Alors que dans le cas de la première réponse, on ne prend en compte qu'une des variables, sans réaliser qu'une relation affine implique une relation entre deux variables, dans le cas de la deuxième réponse, le groupe en question offre une explication trop vague. Enfin, parmi les trois réponses qui disent que la relation ne sera pas affine, une hypothèse est donnée comme suit :

> « ça serait une fonction non affine parce que c'est pas vraiment 100% que tout va être fait exactement de la même manière et il y a différentes variables qui peuvent influencer ceci. »

On voit apparaître déjà le problème de l'exactitude de la mesure et des variables qui influencent le temps de chute des balles.

Hypothèses sur le rôle de la masse

La deuxième hypothèse, par contre, a été l'objet de plus de réponses (voir Tableau 2). Cela s'explique sans doute par le fait qu'elle ne fait pas intervenir des catégories d'un discours scientifique élaboré.

Plus lourd, plus rapide	Pas de différence	Pas de réponse
8	4	0

Tableau 2. Distribution des réponses à la formulation des hypothèses sur le rôle de la masse.

À la place des concepts portant sur des relations « affines » et « non affines », qui exigent déjà une interprétation et une anticipation assez sophistiquées du problème de la chute des corps, la question et son interprétation s'expriment dans une terminologie suffisamment facile pour permettre aux élèves d'utiliser des concepts quotidiens simples. Huit groupes sur 12 ont formulé une hypothèse affirmant que l'objet le plus lourd prend moins de temps pour arriver au sol. Exception faite d'un cas, l'hypothèse se limite à cet énoncé, comme dans l'exemple suivant :

> « Je pense qu'un objet plus lourd va frapper le plancher en premier. »

Dans l'exception mentionnée, la raison invoquée est la gravité. Le concept de gravité vient donner une certaine portée scientifique à l'hypothèse mais hélas il n'est pas bien utilisé :

> « Je crois que oui la masse de l'objet aura un facteur car la gravité tire la balle vers le plancher plus rapidement. Puisque la balle est plus pesante, plus de masse tombera plus rapidement ».

Quatre groupes ont dit que la masse ne ferait pas de différence. Les arguments ont été expliqués plus tard, lors de la Partie B de l'activité. Nous y reviendrons.

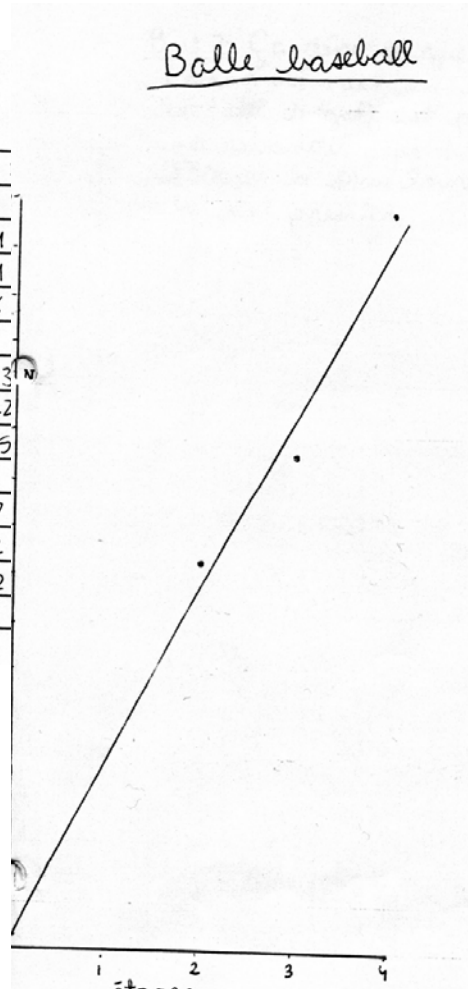
Tableaux et graphiques :

Comme indiqué dans la section précédente, après avoir formulé leurs hypothèses les élèves ont procédé à la prise des données, lesquelles ont été inscrites sur un tableau préparé à l'avance par les enseignants, et à l'élaboration d'un graphique. Voici le tableau obtenu dans l'une des classes :

Observation:

		Balle 1 baseball		
Étage	Essais	Temps 1	Temps 2	Temps
4	1	1,28	1,94	1,44
	2	1,63	1,44	1,34
	3	1,44	1,75	1,38
	moy		1,58	
3	1	1,06	1,12	1,13
	2	1,03	1,06	1,22
	3	1,04	1,06	1,25
	moy		1,06	
2	1	0,88	0,91	0,77
	2	0,80	0,78	0,82
	3	0,85	0,81	0,72
	moy		0,83	

NB: le temps est mesuré en seconde.



Puisqu'on n'a accès qu'à un nombre fini (c'est-à-dire limité) d'observations, le tracé d'un graphique exige déjà le concours d'une interprétation de la relation entre la hauteur et le temps de chute des balles. Si l'on se contente de regarder tomber les balles, il est certainement impossible de répondre à la nature de la relation. Les données fournissent un deuxième paysage –un paysage plus scientifique, pour ainsi dire– qui demande d'être interprété. Dans notre cas, l'interprétation des données a débouché sur deux types de graphiques :

(1) les graphiques de relations affines et

(2) les graphiques correspondant à des relations non affines.

(les deux graphiques sont reproduits ci-dessous)

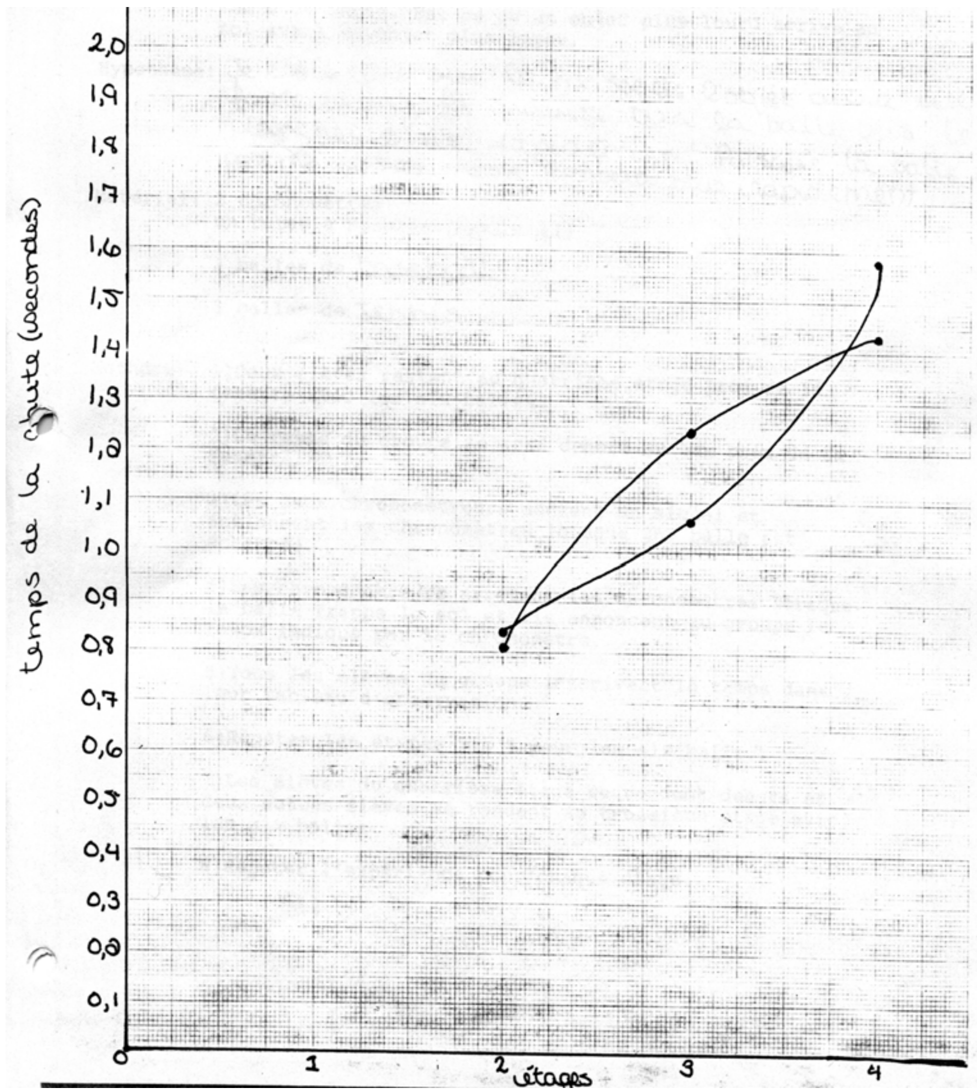
Parmi nos 12 groupes d'élèves, 3 ont produit un graphique linéaire et 9 ont produit soit une ligne brisée soit une courbe (le deuxième graphique, voir page suivante, est un exemple de ce dernier).

L'interprétation des données à la base du premier graphique nous rappelle celle de Martin Alonso, capitaine de *La Pinta*, personnage auquel nous faisions référence dans l'introduction. Ces élèves ont émis l'hypothèse que la relation entre la hauteur et le temps de chute serait affine. Et, comme Martin Alonso, qui croyait reconnaître sur la carte le paysage que lui révélaient ses sens, ces élèves voient, derrière les données du tableau, l'action d'une relation affine.

Mais nos élèves étaient conscients du fait que les données n'étaient pas assez abondantes pour tirer des conclusions catégoriques. Ainsi, lors d'une discussion que les enseignants ont menée après l'élaboration des graphiques, un élève tient les propos suivants :

> pour les étages on pensait que la fonction serait affine. Mais après avoir vu les résultats, puis en regardant le graphique, on a vu que c'était non affine. Et c'est peut être à cause … comme des éléments variables … parce qu'il y avait beaucoup de variables dans cette expérience. Comme … eh … Comme je sais pas, comme le chronomètre… puis la vitesse qu'il pèse le bouton du chronomètre. Puis … ça. Puis um … on peut pas vraiment conclure.

C'est, en effet, l'insuffisance des données ainsi que le problème de variables qu'on ne peut pas contrôler qui ont justifié la reprise de l'expérience dans un environnement plus contrôlé la deuxième journée de l'activité.



Jour 2 : Partie B

Les hypothèses des élèves concernant la relation entre la hauteur et le temps de chute sur une échelle réduite

Nous ne nous arrêterons pas ici sur les détails du déroulement de la deuxième journée qui s'est limité essentiellement à la reprise des données. Un point important à souligner est néanmoins la difficulté que les élèves ont eu à décider eux-mêmes des valeurs particulières que prendrait la variable indépendante. C'est un point clé dans l'apprentissage de la méthodologie scientifique.

Jour 3 : Fin de la Partie B

Discussion sur les hypothèses des élèves

Tel que mentionné précédemment, les enseignants ont chacun mené une discussion sur les interprétations et les conclusions élaborées par les élèves. Attardons-nous d'abord sur le rôle de la masse.

LA MASSE

On a vu que, avant de faire les expériences, la plupart des groupes pensaient que les objets les plus lourds tomberaient les premiers. En général, l'expérience a permis de changer cette idée. Mais l'expérience a aussi fait bousculer l'hypothèse initiale dans l'autre sens ! Ainsi, l'extrait suivant provient d'un groupe qui avait émis l'hypothèse (vraie) que la masse ne ferait aucune différence. Mais l'interprétation que les élèves de ce groupe font des données renverse leur position et ils concluent (à tort !) que la masse fait une (petite) différence.

I. Cas où l'on finit par croire que la masse a un effet

Lors de sa présentation, l'élève commence en faisant remarquer que dans l'expérience à l'intérieur de l'école « on peut voir un peu plus », c'est-à-dire qu' on peut mieux distinguer les diverses variables qui agissent sur la chute d'une balle. Voici l'extrait en question :

1. Édouard : […].On peut pas vraiment conclure dans cette expérience [c'est-à-dire, celle à l'extérieur de l'école] si la masse a un effet à cause des variables. Mais dans l'autre expérience [c'est-à-dire, celle à l'intérieur de l'école] on peut le voir un peu plus. [Albert lève la main]
2. Enseignant. : Puis, Albert?
3. Albert : Juste pour dire que l'autre variable c'était le vent. Mais, des fois, il y a des gros gust de vent. Ça poigne la balle puis ça la lance.
4. Enseignant. : On parle du vent de dehors.. Les balles de dehors. Donc [ces balles

ont] été influencées par le vent. [Mais] si on parle de la deuxième expérience, celle qu'on a faite à l'intérieur?

5. Édouard : La deuxième expérience, ben on a fait pas mal la même chose mais de plus petite hauteur … comme de 100 centimètres, 90 centimètres. Puis hum, la fonction encore était non affine. Et eh, la valeur de la masse avait un petit effet sur la vitesse que la balle tombe. […]
6. Enseignant: (*en faisant une synthèse des deux explications proposées*). Donc eux (*en signalant le groupe d'Édouard*) ils pensent que la masse a un effet sur la vitesse de la balle qui tombe. Albert, Oui? Es-tu d'accord avec ça, oui ou non? Dis-nous ton expérience.

On peut dire que l'interprétation de l'évidence fournie par l'expérience amène les élèves dans une fausse direction. Le problème est de savoir jusqu'où la petitesse de la différence dont parle Édouard (ligne 5) peut être tenue comme négligeable et à partir de quel point on doit la considérer comme différence significative. Bien sûr, ces concepts étaient hors de la portée des élèves, de sorte que la discussion en classe n'a pas été poursuivie dans cette direction.

II. Cas où l'on croit plus au « sens commun » et à l'expérience mentale

L'interprétation du groupe d'Édouard sera contredite par Albert dont le groupe est allé chercher des éléments de preuve à l'extérieur de l'expérience elle-même :

7. Albert : (*en répondant à l'appel de l'enseignant*). Je suis pas d'accord. Parce que si tu regardes à des avions même si le moteur ne fonctionne pas, ils peuvent encore « glider » dans le ciel. Puis … um (inaudible) garder une balle de tennis dans les airs.... Vraiment la masse n'a rien à faire. Parce que tu pourrais échapper un avion puis un cube de la même masse d'un avion. Puis l'avion « gliderait » puis … um … le cube ferait rien que tomber.
8. Édouard: … Oui …mais c'est pas les dynamiques, les deux balles ont la même forme. Donc ça rien à faire!
9. Albert : Oui, les balles n'ont pas la même forme parce que la balle de tennis a du « fuzz » sur le côté.
10. Édouard : Je pense pas que ça [le « fuzz » sur le côté] va faire une différence.

On voit que la conclusion d'Édouard s'oppose à celle d'Albert par l'entremise d'un argument qui fait intervenir un exemple poussé à l'extrême : la comparaison d'un avion et d'un cube. Ce qui est intéressant, c'est que le recours à cet argument repose sur une expérience tout à fait hypothétique (c'est une « expérience mentale ») : en effet, parmi nous, qui a vu réellement tomber simultanément un cube de même masse qu'un avion? Albert fait donc appel pour son argumentation à une situation qui prend ses éléments dans la vie de tous les jours sans pour autant être réelle. Le « sens commun » sert de base à l'argumentation. Une démarche similaire a été employée par un autre groupe qui, comme le groupe d'Albert, affirme que la masse ne joue pas de rôle. C'est ce qu' exprime le groupe de Danielle :

> Nous autres on pense que la masse n'a aucun effet. Que c'est comme peut-être le volume (inaudible). Si on aurait utilisé deux objets qui auraient été de différentes formes et la même masse… peut-être qu'on aurait eu un résultat différent. Comme quelque chose de rond ou quelque chose de plat…

Le contraste entre les deux positions précédentes peut être résumé comme suit. Les arguments avancés par Édouard sont guidés par ce que l'expérience lui a appris. La « petite » différence dans le temps de chute entre deux objets de masse très différente (rappelons qu'une des balles avait une masse deux fois plus grande que l'autre) a été, en effet, *montrée* par les données de l'expérience. Les groupes d'Albert et de Danielle, par contre, utilisent des arguments qui n'ont rien à voir avec les données inscrites dans les feuilles de l'activité.

Qu'est-ce que nous pouvons dire de l'argumentation elle-même? Notons que dans le cas des groupes d'Albert et de Danielle, une argumentation plus fine aurait pris en compte les données du tableau et les aurait utilisées afin de mieux soutenir l'idée que les différences ne semblent pas être significatives. À ce moment, l'argument aurait pu être soutenu par des exemples étrangers à l'expérimentation.

Un point important dans l'argumentation du groupe d'Édouard est de se montrer critique envers l'interprétation des données. Même si, comme nous l'avons déjà mentionné, l'interprétation des données fait basculer l'hypothèse dans la direction incorrecte, Édouard affirme qu'il y a d'autres variables qui peuvent jouer un rôle. Certes, Édouard aurait pu suggérer de façon plus explicite les variables et d'autres façons de procéder pour mieux contrôler celles-ci. Il reste que l'aspect critique dont témoignent ses propos envers les données et leur interprétation est un point clé dans l'apprentissage des sciences.

III. Cas où l'on croit absolument aux résultats de l'expérience

Un exemple de démarche non-critique envers les données a été fourni par un autre groupe où l'on dirait qu'on croit inconditionnellement aux résultats de l'expérience. Voici un extrait de leur présentation :

1. Enseignant : […] Donc, d'après vous, quelle [balle] devait arriver en premier? Et qu'est-ce que vos résultats ont démontré? […]. Votre hypothèse … au sujet de la masse. Quel était…?
2. Cécile : On pensait que le plus pesant l'objet le plus vite que ça tomberait.
3. Enseignant : Ok. Et qu'est ce qui est arrivé quand vous l'avez fait?
4. Cécile: la balle de tennis a tombé plus vite mais elle était plus légère que l'autre. Alors notre hypothèse était mal.

IV. Cas où l'on ne croit pas trop aux résultats de l'expérience

Au fond, la question qui se dessine est la suivante : doit-on croire les résultats d'une expérience ou doit-on y croire avec certaines réserves ? Voici un extrait de la présentation d'un autre groupe. Ici on présente un argument critique, proche de celui du groupe d'Édouard. Les élèves ont recours au problème de l'exactitude des données et au fait que le graphique qu'ils ont produit porte déjà une part d'approximation.

1. Enseignant. : Ça joue ou ça ne joue pas?
2. Nat : Ça joue.
3. Enseignant : Ça joue. Donc [les balles les] plus pesantes vont tomber plus vite.
4. Dina: Je pense que oui.
5. Nat : Moi j'pense que oui.
6. Enseignant : Est-ce que c'est d'après les résultats que vous prouvez ça?
7. Dina: J'peux-tu voir les résultats? (Marie lui passe les résultats)
8. Marie : C'est super écarté. (Les autres filles examinent les résultats)
9. Enseignant : C'est quoi la balle la plus pesante ici?
10. Marie : La ligne droite.
11. Enseignant : Celle-ci? (En pointant le résultat)
12. Marie : Oui.
13. Enseignant : Elle tombe plus vite ou …
14. Marie : Le graphique ici est comme moins vite.
15. Enseignant : Ah, la [balle la] plus pesante a tombé moins vite!
16. Marie : Oui. […]
17. Enseignant : Si on devait s'en tenir à l'expérience alors il faudrait accepter que les [balles les] .... plus pesantes tombent moins vite ...!
18. Marie : J'pense que notre graphique n'est pas représentatif.
19. Dina: Non.
20. Enseignant : Donc votre graphique n'est pas représentatif. Mais

pourquoi?

21. Dina: Parce que les temps n'étaient pas vraiment...
22. Marie : (en interrompant Dina) … n'étaient pas très bien faits.
23. Dina: égales.
24. Marie : Pis la ligne n'était pas facile à faire. Il y avait des points … il y avait des points qui étaient par dessus. Ça changeait.

Maintenant, le problème devient celui de savoir ce qui se passerait dans la *situation hypothétique idéale* où l'on pourrait tout mesurer exactement. C'est ce que nous allons voir ci-dessous.

V. Cas où l'on s'imagine dans une situation « idéale »

L'enseignant intervient et dit :

25. Enseignant : Supposons qu'on arrive à trouver les meilleurs chronomètres les plus exacts et qu'on refait comme il faut l'expérience. Alors qu'est ce qu'on trouverait?
26. Dina: Moi j'pense encore que c'est la plus pesante.
27. Marie : Moi j'pense pas que ça fait une différence.

On peut résumer les résultats précédents en disant qu'on retrouve plusieurs attitudes envers l'évidence que fournissent l'expérience et son utilisation dans l'élaboration des arguments : d'un côté, on a le cas où l'on ne tient pas compte de l'évidence, on l'écarte et on élabore une argumentation en fonction d'autres savoirs (par exemple, la forme des objets). C'est le cas du groupe d'Albert et de celui de Danielle. De l'autre côté, on a le cas du groupe de Cécile où l'on prend les données de l'expérience à la lettre. Entre ces cas, se situe le cas où l'argument élaboré prend en compte les données de l'expérience mais en même temps cela est fait avec un regard critique (par exemple, le groupe de Nat.), même si cela mène à une conclusion erronée (c'est le cas du groupe d'Édouard)[10].

Voyons maintenant un extrait de la discussion concernant la relation entre le temps de chute et la hauteur.

LA NATURE DE LA RELATION :

1. Enseignant: (*En s'adressant à une élève*) Avant de faire l'expérience … au début, tu pensais que c'était pour te donner une ligne courbe? Est ce qu'il y a des groupes qui pensaient que c'était pour donner une ligne droite même avant qu'on ait fait l'expérience? Albert? Mélanie? Qu'est ce que tu penses Mélanie? Tu allais trouver une ligne droite ou une courbe? (l'élève répond « une ligne droite »). Ah!...Tu pensais que c'était pour être une ligne droite. Qu'est ce que vous pensez maintenant, est-ce que ça donne une ligne droite ou une courbe. Mélanie?
2. Mélanie : courbe.
3. Enseignant. (en résumant la discussion) Ça donne une courbe. Et vous? (en interrogeant d'autres groupes) Avez-vous obtenu ça, une courbe? (Certains disent non)
4. Albert : Je voulais dire que,avant l'expérience des étages, je pensais que c'était pour être affine mais après avoir fait cette expérience là … non, c'est une courbe…

L'expérience a donc permis aux élèves de changer l'impression qu'ils avaient concernant la nature de la relation. Mais ce n'est pas forcément pour les raisons escomptées. En fait, comme le suggère l'extrait suivant, la raison qu'en donnent les élèves est à trouver dans les diverses variables qu'on ne peut pas contrôler.

1. Enseignant : Il y a quelqu'un qui a parlé des raisons un petit peu au début. Sylvain?
2. Sylvain : Parce que les variables des fois quand tu lances une balle, ça va pas être les mêmes données que la deuxième fois tu lances … ou quelque chose.
3. Enseignant. : Ok (en cherchant à encourager la discussion). Ce serait quoi les causes, Danielle?
4. Danielle : Le chronométreur quand ça arrête quand ça commence. La hauteur….
5. Sylvain : Puis aussi, Monsieur... La hauteur si tu lances de 25 centimètres, c'est dur à poigner le temps exact, t'as pas beaucoup de temps à faire.

On voit que le fait de ne pas avoir une ligne droite (c'est-à-dire une relation affine) est vu comme étant dû aux inexactitudes des données.

Courbe convexe ou courbe concave?

Cependant, dans les graphiques que les élèves produisent (qui sont soit des lignes brisées rejoignant les données soit des lignes courbes passant « proche » des données) une tendance peut être distinguée : les graphiques vont « vers le haut » (relations

---

[10] Nous disons que les élèves sont critiques dans la mesure où ils rendent explicite le fait qu'il y a d'autres variables en jeu et que l'expérience ne peut pas être prise telle quelle.

concaves) ou ils vont « vers le bas » (relations convexes)[11]. Les enseignants ont tiré avantage de cette situation et ont demandé aux élèves de décider si la relation cherchée devait aller vers le haut ou vers le bas. La discussion a prise plusieurs directions. Dans l'une des classes, après quelques minutes d'impasse l'enseignant est intervenu :

1. Enseignant : Il y en a qui ont des graphiques qui coupent vers le haut. Il y en a qui coupent vers le bas.
2. Élève : Nous autres ça va en haut mais … (en faisant un geste de son bras, il fait un zig zag)
3. Enseignant : OK. J'ai une question pour vous. Pour vous aider à savoir […] pensez à la vitesse de la balle. Qu'est-ce qui arrive à la vitesse de la balle?
4. Danielle : Le plus gros ça poigne plus de (inaudible)
5. Enseignant : Donc ça va plus vite, n'est-ce pas?
6. Élève : More gravitational pull.
7. Enseignant : Si ça va plus vite, ça prends-tu plus de temps à descendre?
8. Danielle : Oui! […]
9. Enseignant : Ok. Mais si on regarde la même distance qu'elles [les balles] doivent couvrir. Si on laisse notre balle tomber du 4e [étage] le temps que ça prend pour traverser du 4e et de se rendre au 3e, est-ce que c'est plus de temps ou moins de temps que le montant de temps que ça prend de passer du 3e au 2e?
10. Édouard : Moins, parce que ça commence à poigner de la vitesse. Alors si...
11. Albert : (interrompant) C'est pareil comme si tu échappes (inaudible) du CN tower. Quand tu l'échappes du top ça va baisser ben plus vite là (inaudible) exactement...
12. Édouard : Parce qu'au commencement ça va lentement ensuite ça gagne de la vitesse.
13. Élève : Ça peut tuer quelqu'un!
14. Enseignant : Est-ce que tout le monde est d'accord avec ça? Donc si vous pensez à ça un petit peu, quelle sorte de graphique que vous devriez avoir?
15. Édouard : Il sera par en haut.

L'intervention de l'enseignant a permis de déterminer le type de graphique qu'on devrait avoir. Il s'est agi d'un raisonnement qualitatif. Pour ce faire, les données de l'expérience ont été intégrées dans un raisonnement qui a recours à l'expérience vécue, mais qui la dépasse. Ce sont les élèves eux-mêmes qui font appel à d'autres situations (comme la tour CN). En considérant la vitesse, la discussion prend une autre tournure. L'allure courbée de la relation est considérée maintenant comme étant causée par le mouvement de balle elle-même, et le rôle des autres variables est laissé de côté pour se placer dans une situation « idéale ». Cela permet à Édouard de suggérer qu'après un

[11] Ainsi, si on revient au graphique montré à la page 12, la courbe passant par le point (3, 1,24) est concave; l'autre courbe (c'est-à-dire celle en dessous) est convexe.

certain temps de chute, la balle atteint sa vitesse maximale et que cette partie du graphique deviendra alors une droite :

> Édouard : J'pense ça va aller comme ça (il fait le geste d'une courbe avec sa main), ça va courber puis ensuite ça va aller ... Parce qu'une balle ne peut pas aller plus vite que sa max. À un point ça va se rendre à sa max vitesse puis ça va rester à sa max vitesse jusqu'à temps que ça frappe le plancher. Mais icitte [l'expérience à l'école] on est assez petit qu'on va juste voir la courbe. Mais si on l'échappait comme tu dis [de la tour] du CN ça irait comme ça (il fait une courbe avec sa main) ensuite ça resterait affine (il fait une droite horizontale avec sa main).

L'enseignant a invité Édouard à aller faire le graphique au tableau. Édouard a fait le tableau à gauche, lequel a été corrigé par un autre groupe, et la classe s'est mise d'accord sur le graphique à droite.

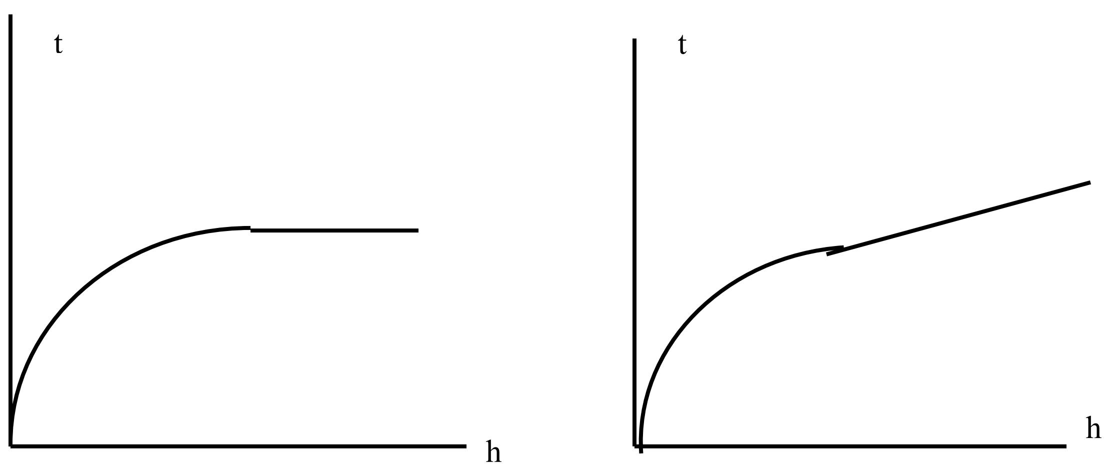


Figure 3. À gauche le graphique suggéré par Édouard (graphique qui « va vers le haut ». À droite, le graphique corrigé.

4. Synthèse et Conclusion

Dans cet article nous avons voulu étudier la façon dont deux classes de 9^{e} année construisent des arguments visant à justifier ou infirmer des hypothèses à la lumière de l'interprétation des données produites par eux-mêmes. Nous avons choisi une expérience classique dans un environnement technologique vraiment rudimentaire (chronomètres, balles de masse différente, tableau pour consigner les données, etc.)[12].

En ce qui concerne la masse, on peut dire que bien que les données semblent être utilisées soit pour confirmer soit pour infirmer les hypothèses, elles ne sont pas forcément utilisées dans les arguments que donnent les élèves. On a vu deux tendances se dessiner. D'une part, l'interprétation des données peut aller dans le sens de l'hypothèse initiale (c'est le cas du groupe d'Albert, qui croyait avant l'expérience que la masse ne jouait aucun rôle) mais les élèves trouvent plus convaincant d'avoir recours à d'autres éléments extérieurs à l'expérience plutôt que de s'appuyer sur les données présentes de l'expérience. L'évidence a ici peu de valeur argumentative et on préfère parler, par exemple, de la forme des objets, et baser l'argument sur une « expérience mentale ».

D'autre part, on a le cas où les données sont prises en compte. L'évidence est revêtue ici d'une valeur argumentative. Deux cas peuvent alors se présenter :

- on croit aux résultats de l'expérience (c'est le cas des groupes d'Édouard et de Cécile) ou
- l'on n'y croit pas.

Croire ou ne pas croire ? Voilà la question ! Dans ces deux cas-ci, on court le risque de faire un faux choix. Il faut alors être très prudent. On a vu que le groupe d'Édouard a interprété les données comme une certaine évidence que la masse joue un rôle et s'est ainsi égaré de la bonne voie. Bien sûr, cette décision ne se fait pas pile ou face. Il y a des raisons pour choisir entre croire ou ne pas croire. Nat. et son groupe ont décidé de ne pas croire à l'évidence car, dans leur cas, cela mettait leur sens commun à rudeépreuve. En effet, on peut à la limite accepter que la masse ne joue pas de rôle, mais Nat. et son groupe trouvaient inconcevable l'idée que les balles les plus légères arrivent plus vite que les balles les plus lourdes !

[12] L'environnement technologique était tout de même beaucoup plus sophistiqué que celui utilisé par Galilée au 16[e] siècle (voir, par exemple, Hahn, A. J. (2002). The pendulum swings again: A mathematical reassessment of Galileo's experiments with inclined planes, *Archive for the History of Exact Sciences*, **56**, 339-361).

En ce qui concerne la nature de la relation (linéaire versus non-linéaire), il est difficile de se soustraire aux données dans la mesure où l'on demande aux élèves de construire un graphique à partir des données recueillies C'est pourquoi le problème des données se pose ici de façon différente. D'emblée les données ont une valeur argumentative.

En faisant les graphiques on constate qu'on est loin de retrouver une droite. On trouve soit des lignes brisées soit des courbes. L'absence d'une relation affine est attribuée en général par les élèves à l'inexactitude des données. Il faut la considération de la vitesse à laquelle tombent les balles pour surpasser le cadre purement empirique dans lequel s'enferme la discussion. La compréhension de ce qu'est une « situation idéale » est très difficile aux premières étapes de la pensée scientifique. L'activité de la salle de classe nous fait réaliser que, pour l'élève, penser à analyser la vitesse n'est pas une démarche spontanée. Mais, nous avons vu que les enseignants ont introduit convenablement l'idée et qu'à partir de là les élèves ont pu élaborer des raisonnements assez sophistiqués et obtenir un graphique intéressant. Les arguments des élèves se sont approfondis conformément aux concepts auxquels ils avaient accès.

En guise de conclusion, nous voulons suggérer, à la lumière de l'activité précédente, que l'acquisition d'un discours scientifico-mathématique émerge à partir du vécu quotidien des élèves et de la rigueur qui traduit une objectivité historico-culturelle qui nous informe du monde et de ses phénomènes. L'utilisation des données dans l'élaboration d'arguments objectifs convaincants est loin d'être évidente. Elle demande une interprétation aiguisée des données qui va au-delà de ce que nous renvoie le monde phénoménal comme tel. Cette interprétation exige à son tour une compréhension des mécanismes de la science. Interprétation et compréhension s'enrichissent dans une relation dialectique (c'est-à-dire dans une relation mutuelle) au centre de laquelle se trouvent l'école comme institution sociale et l'enseignant comme dépositaire d'un savoir historique. C'est dans cet espace que l'élève apprend, pas à pas, à réfléchir de façon critique sur son entourage.

ANNEXE

Le temps de chute d'une balle

But 1 : Déterminer si la relation entre la distance et le temps pour une balle en chute est une fonction affine ou une fonction non affine.

But 2 : Déterminer si la masse de l'objet en chute affecte son temps de chute. Est-ce qu'un objet plus lourd arrive au sol avant un objet plus léger.

Hypothèse : 1 :

2 :

NB : Les balles utilisées devraient avoir un diamètre semblable mais une masse différente.

Matériel : 2 chronomètres
un ruban à mesurer (optionnel)

3 balles de __________

3 balles de __________

Méthode :

1) Deux élèves restent au quatrième étage près de la fenêtre avec les six balles.

2) Le reste du groupe se rend dehors au bas près de la fenêtre.

3) Les deux chronométreurs donnent un signal et actionnent les chronomètres lorsqu'**une balle** est échappée.

4) Les chronométreurs arrêtent les chronomètres lorsque la balle frappe le sol et ils annoncent au groupe le temps indiqué par le chronomètre.

5) Tous les élèves du groupe inscrivent le temps dans leur tableau d'observations.

6) Répéter les étapes 3 à 5 pour les six balles.

7) Les élèves du quatrirème étage se rendent dehors et deux autres élèves se rendent au troisième étage avec les six balles.

8) Répéter l'expérience pour chaque étage.

<u>Observations</u> : « document d'expérimentation »

		Balle 1		Balle 2	
Étage	Essais	Temps 1	Temps 2	Temps 1	Temps 2
4	1				
	2				
	3				
	moy				
3	1				
	2				
	3				
	moy				
2	1				
	2				
	3				
	moy				

NB : le temps est mesuré en secondes.

Le temps de chute d'une balle; modèle réduit

NB : Vous allez reprendre l'expérience avec les mêmes balles, mais cette fois l'activité aura lieu à l'intérieur de l'école.

<u>Méthode</u> :

1) écrire à nouveau ou reformuler les deux hypothèses de la partie précédemte

2) préparer un tableau d'observations (minimum de six différentes hauteurs).

3) présenter les résultats sous forme de graphiques.

4) préparer une conclusion (d'après vos résultats, que pouvez-vous conclure au sujet des 2 buts).

<u>Questions</u> :

Qu'est ce qui se produirait si;

A) on lancerait les balles vers le sol? Comment ceci affecterait le graphique?

B) on accrocherait un parachute à la balle? Comment ceci affecterait le graphique?

C) la balle tomberait à une distance constante? Comment ceci affecterait le graphique?

MPM1D PRINCIPES DE MATHÉMATIQUES LA CHUTE D'UNE BALLE

Connaissance et compréhension	1	2	3	4
-démontre la compréhension de la fiabilité de données -décrit en situation, les caractéristiques d'une fonction à partir de sa table de valeurs et de son graphique -distingue une relation affine d'une relation non affine à partir de leur table de valeurs et de leur graphique	démontre une compréhension limitée des concepts	démontre une compréhension partielle des concepts	démontre une compréhension générale des concepts	démontre une compréhension approfondie des concepts
Réflexion et recherche				
-formule des hypothèses quant à l'existence d'une relation entre les	suit des raisonnements	suit des raisonnements	suit des raisonnements	suit des raisonnements

variables -décrit l'effet sur le graphique d'une fonction lorsqu'on change certaines données -résout des problèmes à partir de données recueillies	simples et résout des problèmes avec une efficacité limitée	d'une certaine complexité et résout des problèmes avec une certaine efficacité	complexes et résout des problèmes avec une grande efficacité	complexes et résout des problèmes avec une très grande efficacité
Communication				
-définit les variables utilisées dans une expérience -utilise la terminologie et la notation appropriée à la présentation des graphiques -communique de façon claire les résultats d'une analyse au moyen de phrases, d'une notation précise et d'un vocabulaire approprié et en justifie les conclusions	utilise rarement la terminologie avec efficacité et communique avec peu de clarté en donnant des explications limitées	utilise parfois la terminologie avec efficacité et communique avec une certaine clarté en donnant certaines explications	utilise souvent la terminologie avec efficacité et communique avec grande clarté en donnant des explications complètes	utilise toujours la terminologie avec efficacité et communique avec une très grande clarté en donnant des explications complètes
Attentes -déterminer la relation entre deux variables au moyen de la collecte et de l'analyse de données. (MPM1D-R-A.1) -distinguer les caractéristiques de fonctions affines et non affines. (MPM1D-R-A.2) -décrire les liens qui existent entre les différentes représentations d'une relation. (MPM1D-R-A.3)				