

## Mémoire de Master 2 Recherche

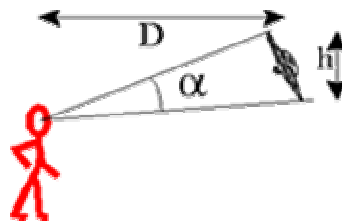
Université Montpellier II, Université Claude Bernard Lyon 1,  
Ecole Normale Supérieure-Lettres et Sciences humaines

Mention "Histoire, Philosophie et Didactique des Sciences"

**Le diamètre apparent, ou comment le concept d'angle permet de  
comprendre les éclipses.**

Jérôme Mathey

Date de soutenance: 29 septembre 2006



Directeur de mémoire: Valérie Munier

Laboratoire de rattachement: LIRDEF, Equipe d'accueil n° 3749 (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation – Composante ERES)

*Je me permets tout d'abord de rendre un hommage à Monsieur le Professeur Bernard Tribollet, directeur du LIRDHIST qui nous a quitté le 5 mars 2006.*

Remerciements.

Je tiens tout d'abord à remercier ma guide dans ce long travail de mémoire, Valérie Munier, pour le temps qu'elle m'a consacré dans les multiples relectures, pour la patience dont elle a fait preuve et pour les conseils qu'elle m'a prodigués.

Sa détermination quant à la réussite de ce projet a fait que ce travail de mémoire a pu arriver à son terme.

Je tiens également à remercier Jean-Michel Dusseau, directeur du laboratoire qui m'a accueilli au sein de son équipe et a cru en ce projet malgré les difficultés rencontrées.

Je souhaite dire aussi un grand merci à tous les étudiants du Master 2 qui ont participé activement à rendre cette année intéressante et sympathique. Je garderai un excellent souvenir de nos révisions en histoire des sciences.

J'adresse également mes remerciements à mes amis qui m'ont permis de toujours garder le courage nécessaire au bon déroulement des étapes de cette année et en particulier à ma chère re-lectrice.

# *Sommaire*

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2. LA NOTION DE DIAMETRE APPARENT</b>	<b>2</b>
2.1. ELEMENTS HISTORIQUES	2
2.2. LE CONCEPT DE DIAMETRE APPARENT	7
2.3. COMMENT DETERMINER LES DIAMETRES APPARENTS ?	9
<b>3. ANALYSE DES PROGRAMMES ET MANUELS</b>	<b>13</b>
3.1. NOTIONS ABORDEES EN CYCLE 3	13
3.2. NOTIONS ABORDEES EN CLASSES DE COLLEGE	15
3.3. NOTIONS ABORDEES AU LYCEE	18
<b>4. ANALYSE A PRIORI DES OBSTACLES LIES AU CONCEPT</b>	<b>20</b>
4.1. LE DIAMETRE APPARENT	20
4.2. VARIABILITE DE L'ICONOGRAPHIE	22
<b>5. RECUEIL DE TEMOIGNAGES D'ACTEURS DE LA DIFFUSION DE L'ASTRONOMIE</b>	<b>25</b>
5.1. PRESENTATION DU QUESTIONNAIRE	25
5.2. ANALYSE DES QUESTIONNAIRES	26
<b>6. ENQUETE AUPRES D'ELEVES</b>	<b>28</b>
6.1. ANALYSE A PRIORI	28
6.2. POPULATION	28
6.3. RESULTATS DU QUESTIONNAIRE ECOLE, CLASSES DE CYCLE 3	29
6.4. RESULTATS DU QUESTIONNAIRE LYCEE, CLASSE DE SECONDE	40
<b>7. CONCLUSIONS ET OUVERTURES</b>	<b>48</b>
<b>8. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>50</b>
<b>9. TABLE DES FIGURES</b>	<b>53</b>
<b>10. ANNEXES</b>	<b>54</b>

# 1

## 1. Introduction

On peut définir le diamètre apparent de la façon suivante :  
« Angle sous lequel un observateur voit un objet, un astre » (petit Larousse illustré, 1993).

Cette notion de diamètre apparent, présente en sciences physiques (astronomie, électrodynamique, optique), mathématiques et biologie (observations microscopiques) fait appel à de la géométrie dans l'espace et à la notion d'angle.

On considèrera dans ce mémoire la notion de diamètre apparent, dans un contexte astronomique (diamètre apparent d'objets célestes tels que les planètes, la Lune ou le Soleil).

Pouvant être utilisée au niveau cycle 3 de l'école primaire, au collège, en seconde et dans les études supérieures, la notion de diamètre apparent s'est vue mise en avant par l'actualité astronomique avec les éclipses de Soleil (3 octobre 2005 et 29 mars 2006) et de Lune (15 mars et 7 septembre 2006) et avec le transit de Vénus (2004) (Causseret, 2005).

Nous retracerons dans un premier temps l'utilisation et l'évolution de cette notion dans l'histoire de l'astronomie. Cette étude nous permettra de préciser les méthodes de détermination du diamètre apparent et son utilisation par les astronomes.

A la suite de cette étude historique, nous présenterons quelques méthodes de détermination importantes qui pourraient être utilisées avec des élèves à l'école ou dans un observatoire.

Après une approche générale sur les diamètres apparents en astronomie, nous étudierons ensuite le cas plus spécifique des éclipses et nous détaillerons plus particulièrement les différents types de schématisation de celles-ci.

Suite à une analyse des programmes et des manuels de cycle 3, de collège et de lycée, nous effectuerons une analyse a priori des obstacles liés aux concepts envisagés.

Ensuite ce travail se focalisera sur les acteurs de la diffusion de l'astronomie. Cette étude permettra d'obtenir des témoignages sur leurs méthodes et pratiques ce qui constituera une première analyse des difficultés rencontrées par les enfants. Cette enquête aura sollicité des animateurs de planétarium ou de musée scientifique, des responsables d'association d'astronomie ou d'animation astronomique, mais aussi des professeurs des écoles ou des collèges et lycées.

Dans une seconde partie, notre étude portera sur les difficultés effectives des élèves d'école, et de lycée. Nous chercherons à obtenir des informations sur les difficultés que peuvent rencontrer les élèves sur la définition, l'explication ou l'utilisation du diamètre apparent. Le questionnaire que nous avons construit nous permettra de voir si le diamètre apparent est mobilisé comme un outil pour expliquer les différentes éclipses.



## 2

## 2. La notion de diamètre apparent

### 2.1. Éléments historiques

Le concept de diamètre apparent semble trouver ses racines dans l'histoire de l'astronomie (Couderc et Pecker, 1982) en particulier avec l'étude des éclipses et la détermination des tailles des différents corps célestes.

Les premières éclipses observées et relatées sont difficiles à retrouver tant les écrits sont variés dans les langues et les supports. Ce serait en 3784 av J.C., en Inde dans la vallée de l'Indus, que remonterait la plus ancienne « trace » d'observation du phénomène dans des chroniques (Guillermier, 1998). Cependant la plus ancienne éclipse mentionnée de façon certaine (trace archéologique) est celle de Soleil du 31 juillet 1062 av J.C., observée à Babylone. Les historiens de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE) s'accordent à dire que les premiers relevés scientifiques se retrouvent dans l'Almageste de Ptolémée, en lien avec 10 éclipses ayant eu lieu en 500 av J.C.

Ces observations astronomiques ont peu à peu incité les astronomes à tenter de prédire ces phénomènes (éclipses lunaires et solaires).

Il semble que Thalès (-640,-547 av J.C.) a eu connaissance des éphémérides mésopotamiennes concernant les éclipses de Soleil. Selon Hérodote (Couderc et Pecker, 1982), sa célébrité lui serait venue de la prédiction d'une éclipse de Soleil qui mit fin à la guerre entre les Mèdes et les Lydiens, tant la frayeur des combattants fut grande. Certains auteurs s'accordent à dire que si cette légende est vraie, Thalès a eu beaucoup de chance dans cette prédiction : les éphémérides ne permettant de prédire que la probabilité de réalisation d'une éclipse sans en donner le lieu de visibilité sur Terre ; il se pouvait très bien que l'éclipse de Thalès ne fût pas visible depuis son lieu d'observation (Verdet, 1990).

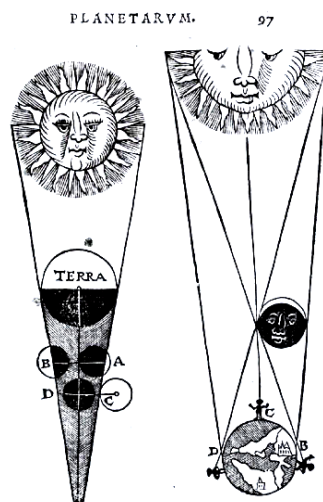


Figure 1, Gravure du XVIe siècle montrant le cône d'ombre et les tailles relatives.

Pour Aristote (-384,-322 av J.C.) la forme toujours circulaire de l'ombre de la Terre lors des éclipses de Lune était une preuve de la sphéricité de la Terre. Il expliquait les éclipses de Lune par le fait que la Terre passait entre le Soleil et la Lune (Figure 1). Il calcula le rayon de la Terre grâce aux éclipses de Lune, et au rapport de diamètre entre l'ombre de la Terre et la taille de la Lune. Il utilisa pour cela les diamètres apparents de la Lune et de l'ombre de la Terre.

Aristarque de Samos (-310,-230 av J.C.) observe que les éclipses de Lune les plus longues durent 2 heures. Afin de mesurer le diamètre de la Lune, il utilisa son déplacement et son passage dans l'ombre de la Terre lors d'une éclipse lunaire. Comme celle-ci se déplace de son diamètre en une heure, il en déduisit que le diamètre de la Terre équivaut à 3 fois le diamètre de la Lune (Figure 1). Il détermina aussi un ratio de la distance Terre-Soleil équivalant à 764 diamètres terrestres ou 19 distances Terre-Lune. Il calcula les diamètres respectifs de ces astres grâce à l'utilisation des diamètres apparents.

Les grandeurs admises actuellement sont (Celnikier, 1996) :

- distance Terre-Lune : 60 rayons terrestres
- taille de la Lune :  $\frac{1}{4}$  de la Terre
- distance Terre-Soleil : 12000 diamètres terrestres

Hipparque (-162,-126 av J.C.), dont les traductions arabes de l'Almageste de Ptolémée ont permis de faire connaître partiellement ses travaux (Lloyd, 1999), observe de nombreuses éclipses, surtout de Lune, qu'il compara aux éclipses anciennes dont il avait connaissance. En utilisant l'estimation de la distance Terre-Soleil faite par Aristarque de Samos, il montra que l'ombre portée par la Terre n'est pas un cylindre mais un cône d'ouverture  $0,5^\circ$ . Il en déduisit une nouvelle détermination du diamètre lunaire : celui-ci vaut alors 0,27 fois celui de la Terre.

Ayant estimé le diamètre angulaire de la Lune à  $0,5^\circ$  avec la méthode du « bâton de Jacob », il calcule alors la distance Terre-Lune, et trouve que celle-ci vaut 60 fois le rayon de la Terre, une valeur très proche de celle admise actuellement. On peut noter que le système utilisé alors est le système géocentrique, tout à fait compatible avec les distances calculées (Figure 2, Système de Ptolémée).

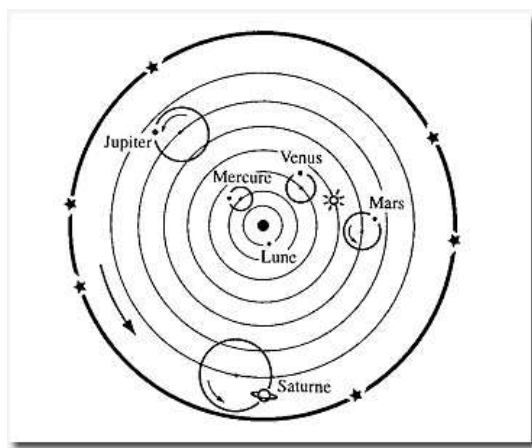


Figure 2, Système géocentrique de Ptolémée.

Dans son système géocentrique (Figure 2), Ptolémée considérait que le diamètre apparent du Soleil restait égal à 31,20', valeur égale au diamètre apparent minimal de la Lune (Verdet, 1990).

Abu Abdallah Muhammad Ibn Jabir Ibn Sinan al-Battani al-Harrani plus connu sous le nom de al-Battani, Abu Abdullah (868 - 929) en déterminant les variations de diamètre apparent du Soleil et de la Lune a montré qu'il pouvait y avoir des éclipses annulaires de Soleil. Il mesura pour la Lune des diamètres apparents variant de 29,30' à 35,2' et pour le Soleil 31,20' à 33,4'. Les valeurs actuelles pour la Lune étant de 29,2' à 33,3' et pour le Soleil de 31,28' à 32,32' nous pouvons apprécier la précision des mesures faites.

Dans le système héliocentrique de Copernic (1473-1543) (Figure 3, Système héliocentrique) la Terre effectue un tour sur son axe en un jour et fait le tour du Soleil en une année. Son système repose d'autre part sur le principe que les autres planètes sont elles aussi situées autour du Soleil (Copernic, 1980).



Figure 3, Système héliocentrique de Copernic.

Un élément intéressant mettant en jeu le diamètre apparent et la magnitude nous provient des travaux de Copernic relatés dans *La controverse copernicienne* (Couderc et Pecker, 1982).

Cet astronome, qui révolutionna le modèle du système solaire, dut se défendre contre un argument de poids : la planète Vénus était toujours visible depuis la Terre sous le même aspect quasi-ponctuel et elle brillait avec le même éclat tout au long de l'année.

Cette simple observation était de nature à invalider le modèle de Copernic. En effet, si, la Terre et Vénus tournent autour du Soleil à des vitesses différentes (ce que prévoyait la théorie de Copernic), il doit y avoir des périodes pendant lesquelles les deux astres sont très proches et d'autres où, au contraire, ils sont très éloignés : le diamètre apparent de Vénus, observé depuis la Terre devrait donc changer au cours du temps.

En revanche, si Vénus tourne autour de la Terre, son diamètre apparent ne change pratiquement pas au cours du temps, ce qui est conforme aux observations à l'œil nu.

La réponse à cette énigme astronomique prend en compte deux phénomènes, le premier étant bien l'éloignement de Vénus par rapport à la Terre (Ripert, 1994). Le second phénomène, qui doit compenser cet éloignement pour garder un éclat identique est le même phénomène que pour les phases de la Lune (Figure 4).

En effet, quand Vénus s'éloigne de la Terre, celle-ci s'approche d'une « pleine Vénus » analogue à la pleine Lune. Quand elle se rapproche de la Terre, elle va tout d'abord passer par un premier quartier puis un fin croissant.

La variation de magnitude engendrée par ces changements de phases est à peu près compensée par son rapprochement ou éloignement vis-à-vis de la Terre.

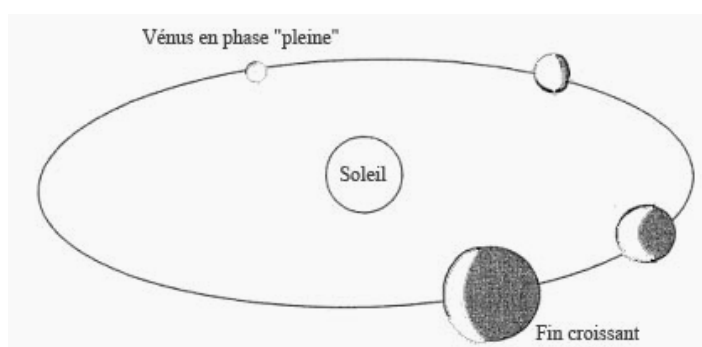


Figure 4, Observation de Vénus et de ses phases depuis la Terre.

A l'aide des éphémérides modernes (Tableau 1), nous pouvons voir en effet une variation de son diamètre apparent en lien avec sa distance par rapport à un observateur terrestre due à sa révolution et une variation de sa magnitude corrélée avec ses phases et sa distance.

Extrait de tables parues dans le guide de données astronomiques de 2006 (Débarbat, 2005).

Vénus le 13 janvier 2006	Vénus le 20 octobre 2006
Distance : 0,267 UA Diamètre apparent : 62,6 sec d'arc Magnitude apparente : -4,1	Distance : 1,716 UA Diamètre apparent : 9,7 sec d'arc Magnitude apparente : -3,9

Tableau 1 Extrait des éphémérides de Vénus

Kepler (1571-1630) utilisa les observations de Tycho Brahe (Couderc et Pecker, 1982) pour montrer que la planète Mars parcourait une orbite elliptique. Il énonça alors les lois qui portent son nom, sur les trajectoires elliptiques et les vitesses de rotation. Pour définir ces trajectoires, il utilisa les différents diamètres apparents des planètes.

Les travaux astronomiques de Tycho Brahe (1546-1601), puis de Kepler, vont augmenter la précision des observations liées au Soleil et à Lune (périodes de rotation) ; cette quête de précision ne fera que croître après Newton et la naissance de la mécanique céleste.

On assiste alors à une augmentation des publications d'éphémérides en Europe ; elles prévoient toutes très correctement les éclipses de Soleil et leur zone de visibilité.

L'établissement de catalogues d'objets et d'autres relevés d'observations mentionnent actuellement comme paramètre, au même titre que les coordonnées célestes, le diamètre apparent (cf. Tableau 2).

Type	Nom	Constellation	Magnitude	Taille apparente Min d'arc	Distance approx. En a.l
Amas ouvert	M44	Cancer	3,1	95	600
Amas ouvert	M6	Scorpion	4,6	26	1500
Amas globulaire	M13	Hercule	5,9	17	23000
Nébuleuse	M57	Lyre	8,8	2	5000
Nébuleuse	NGC 2070	Dorade	5	40	180000
Galaxie	M31	Andromède	3,4	180	2,3 millions
Galaxie	M87	Vierge	8,6	7	40 millions

**Tableau 2** Caractéristique d'objets célestes

Ce tableau montre la corrélation entre la taille réelle des objets et leur distance pour expliquer les tailles apparentes. En effet, une galaxie telle que M87 se trouve plus petite en apparence qu'un amas globulaire d'étoile tel que M13. Une galaxie étant bien plus grosse qu'un amas, cette différence s'explique par les distances incommensurables par rapport à l'observateur, en effet, la galaxie est 2000 fois plus lointaine que l'amas.

## 2.2. Le concept de diamètre apparent

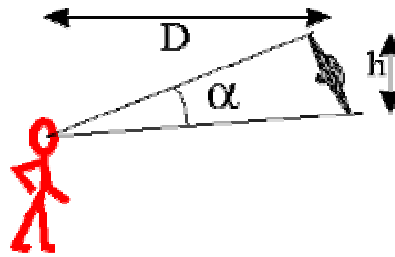


Figure 5, Le diamètre apparent.

Il est important de noter que l'on est en présence d'un angle qui dépend en plus de deux paramètres importants, la taille réelle de l'objet  $h$  (Figure 5) et sa distance  $D$  par rapport à l'observateur (Figure 4).

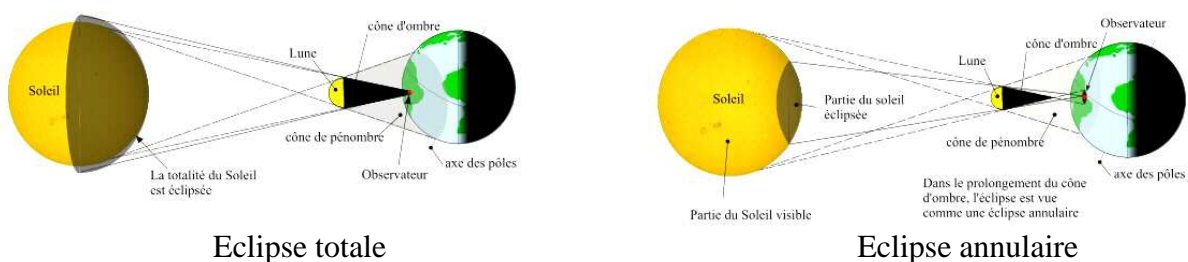
On peut parfois trouver des synonymes dans des ouvrages d'astronomie tels que le rayon ou le diamètre angulaire (Acker et Jaschek, 1981), le disque apparent (Martinez, 1987) ou encore la dimension apparente.

Associé à l'astrométrie et aux mesures de distances, on retrouve ce concept impliqué dans les calculs de distance des objets du système solaire (Soleil, Lune, planètes) comme on a pu le voir dans l'histoire de l'astronomie évoquée plus haut.

Dans une plus large mesure, le diamètre apparent et les angles apparents sont des outils de mesure de l'astrométrie (Martinez, 1987). Les distances réelles ne pouvant être mesurées directement, les angles sont alors mesurés et des rapports d'angles sont calculés. Par exemple, ces méthodes permettent, en observant les planètes, d'apprécier le caractère elliptique des orbites.

Bien que cette notion soit utilisée dans de nombreux domaines de l'astronomie, nous restreindrons notre étude au cas des éclipses solaires.

En rapport avec l'actualité astronomique de cette année, la variation de diamètre apparent explique la différence entre les éclipses solaires annulaires (3 octobre 2005) et les éclipses totales (29 mars 2006), le phénomène d'éclipse partielle n'étant dû qu'à un défaut d'alignement des 3 astres (Figure 6).

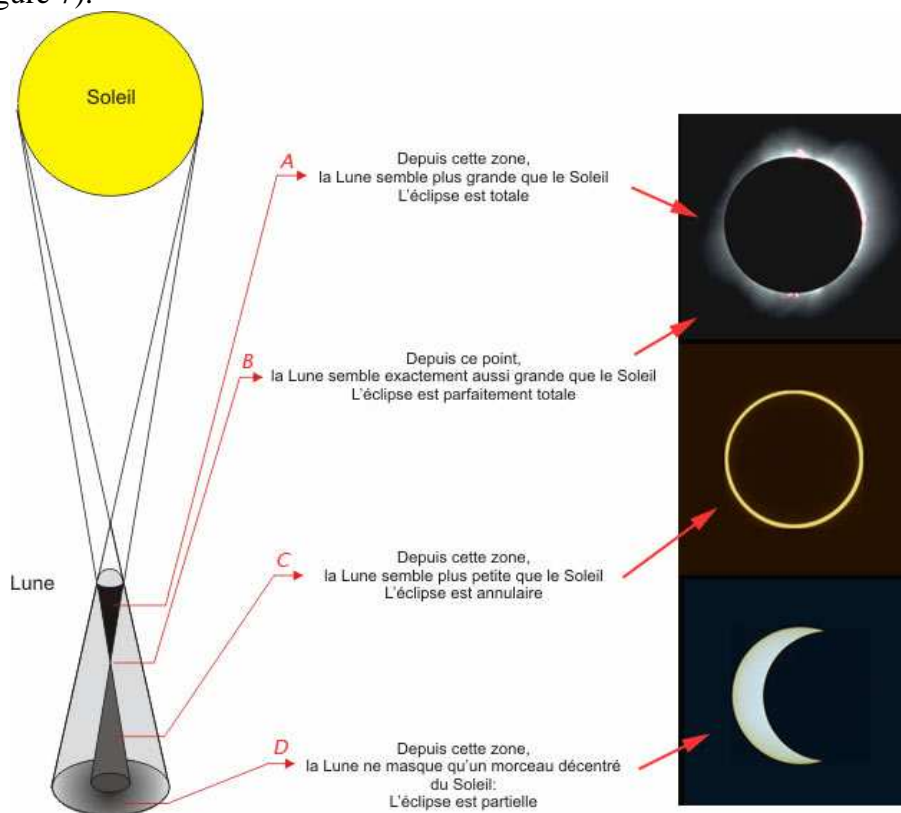


Eclipse totale

Eclipse annulaire

Figure 6, Différence éclipse totale, éclipse annulaire (IMCCE).

En effet, on dénombre trois grandes catégories d'éclipses solaires (Herrmann, 1995), les éclipses centrales totales, les éclipses centrales annulaires et les éclipses partielles (Figure 7).



**Figure 7, Les différents types d'éclipse.**

Nous sommes en présence d'une éclipse centrale lorsque l'axe du cône d'ombre formé par la Lune rencontre la Terre (Figure 7). Nous avons alors trois cas de figure :

- Les éclipses totales :

Une éclipse centrale constitue une éclipse totale lorsque l'extrémité du cône d'ombre (Figure 6, A B) balaie la surface terrestre selon une surface d'intersection plus ou moins grande suivant que la Lune est plus ou moins proche de la Terre. Le déplacement de cette surface définit une bande de totalité

- Les éclipses annulaires :

Une éclipse centrale constitue une éclipse annulaire lorsque le sommet du cône d'ombre (Figure 6, C) n'atteint pas la Terre, qui est alors seulement balayée par le prolongement de ce cône suivant une bande également formée par une surface ovale d'intersection.

- Les éclipses partielles :

Une éclipse partielle est visible dans les lieux situés dans la pénombre de la Lune. On peut remarquer qu'une éclipse totale ou annulaire peut être vue comme une éclipse partielle lorsque l'observateur se trouve en dehors de la bande de totalité, il se trouve alors dans le cône de pénombre de la Lune (figure 6, D).



### 2.3. Comment déterminer les diamètres apparents ?

Afin de déterminer le diamètre apparent d'un objet, plusieurs stratégies vont pouvoir être mises en œuvre. En effet, l'étude d'objets très lumineux permet des techniques différentes de celles utilisées pour des objets faiblement lumineux (exemple : taille d'une galaxie ou taille du Soleil).

De même, en fonction de la précision ou de la sensibilité des mesures souhaitée, des méthodes plus ou moins difficiles à mettre en œuvre seront utilisées.

Les indicateurs que l'on prendra pour obtenir les diamètres angulaires, en fonction des conditions expérimentales, seront des longueurs, des durées ou des angles.

Nous présenterons ci-dessous les principales méthodes de détermination du diamètre apparent rencontrées dans les ouvrages d'astronomie. Une source importante de méthodes testées auprès d'élèves se retrouve dans les recueils d'expériences en classe et les publications du Comité de Liaison Enseignants Astronomes (CLEA) que sont les cahiers Clairaut.

#### 2.3.1. Méthode comparative

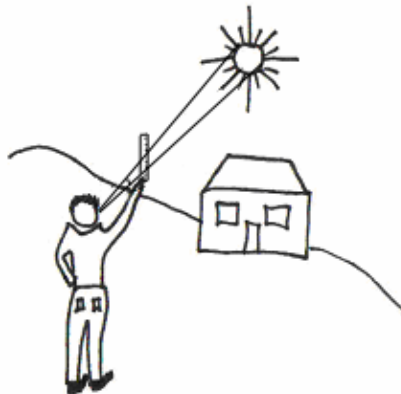
- Il s'agit de comparer la taille de l'objet à estimer au champ d'un instrument donné, cela peut donc être effectué à l'aide de jumelles, lunette ou télescope, cette méthode peut donc être envisagée de jour ou de nuit et avec des contraintes matérielles et spatiales réduites.

On peut ajouter un réticule étalonné afin d'affiner la méthode.

Le champ d'un télescope (ou d'une lunette) est donné par la formule suivante:

$$C = \frac{\text{Diamètre de la lentille oculaire}}{\text{focale du télescope}}$$

- La comparaison peut être effectuée à l'aide d'un décimètre tendu à bout de bras. A un déplacement du bras correspond un déplacement angulaire.





Pour des mesures d'angle plus importantes que les diamètres apparents d'astres, l'arbalestrille ou bâton de Jacob (inventé par Lévi ben Gerson en 1288) donne des résultats plus précis que celle décrite ici. Hipparque détermina néanmoins le diamètre apparent de la Lune avec cette méthode.

Dans la technique du décimètre, on mesure le côté opposé dans le triangle formé et non directement l'angle. Les longueurs mesurées dépendent donc des longueurs de bras des expérimentateurs.

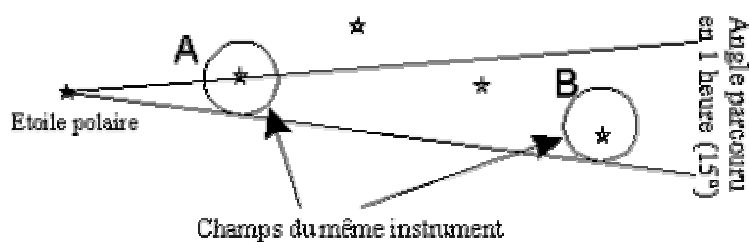
Cette méthode est simple mais cependant très imprécise. Alternativement, et pour de gros objets, la méthode peut être améliorée en utilisant un théodolite mesurant directement des angles.

- Une troisième méthode, décrite comme la technique de la pièce de 2 euros, utilise un petit disque ayant un diamètre proche de 2 cm. On cherche alors à occulter la Lune avec ce disque en déplaçant celui-ci.

### 2.3.2. Méthode par déplacement apparent

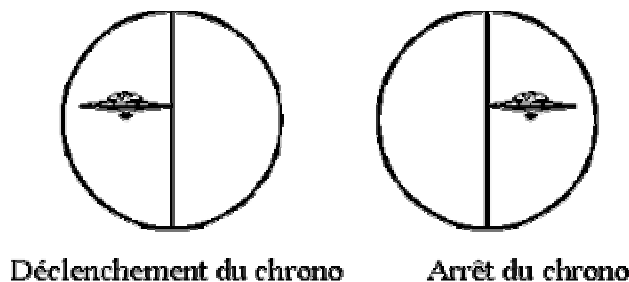
Connaissant les vitesses de rotation des différents corps célestes, il est possible de déterminer des vitesses angulaires que l'on pourra « convertir en angles » en mesurant simplement des durées. Cette méthode simple en apparence, nécessite de maîtriser des notions complexes comme le système de notation horaire et/ou angulaire et les conversions et introduisent un aspect dynamique à l'angle cherché. Une correction due à la déclinaison de l'objet est nécessaire et implique l'utilisation des cosinus (Marical, 2003).

Par exemple, la Terre tournant sur elle-même, les objets du ciel semblent se déplacer autour de l'étoile polaire à raison de  $15^\circ$  par heure.



Cependant, attention !, dans la situation A, l'étoile met environ 2h à traverser le champ, alors qu'en B, elle ne met que 40 min, donc plus l'objet visé sera près de l'équateur céleste, et plus il semblera se déplacer vite (à l'équateur, il parcourt  $15^\circ$  par heure).

La technique de mesure du diamètre apparent peut être la suivante, le télescope étant immobile (sans suivi), avec un oculaire réticulé (à défaut, le bord du champ peut servir) on observera le déplacement de l'objet dans le champ pendant un temps mesuré.



Finalement, on utilisera le calcul ci-dessous :

$$\text{Diamètre apparent} = 15 \cdot t \cdot \cos \delta$$

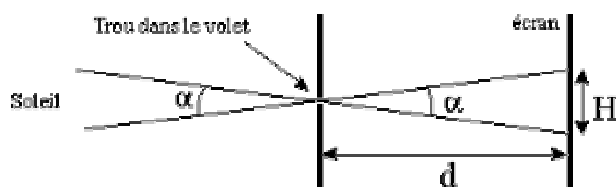
Où  $\delta$  est la déclinaison de l'objet ( $0^\circ$  à l'équateur,  $90^\circ$  au pôle) et  $t$  la durée de déplacement où une durée en minutes donnera un diamètre en minutes d'angle.

*Exemple:* Un amas d'étoiles met 20 secondes à être traversé par le réticule, alors qu'elle est à  $10^\circ$  de déclinaison, son diamètre apparent est donc de 295 secondes d'angle, ou environ 5 minutes d'angle.

### 2.3.3. Méthodes projectives

- Méthode par le principe de la chambre noire (sténopé) :

Dans cette méthode, on cherche à former une image sur un écran de l'objet à mesurer, une phase calculatoire permet ensuite de déterminer le diamètre apparent.



Les distances à prendre en compte sont alors la distance de l'écran au trou et le diamètre de l'image formée sur l'écran (Bourge, 2000).

On remarque, de par la conservation de l'angle, que le diamètre de la tache sera directement lié au diamètre apparent.

On obtient l'angle :

$$\tan(\alpha) = \frac{H}{d} \quad \text{D'où} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{H}{d}\right)$$

- Projection sur un écran à l'aide d'une lunette astronomique (de type 60/800) :

Cette méthode, utilise la vitesse de rotation terrestre et des notions de trigonométrie (Marical, 2003).

La vitesse angulaire de rotation terrestre, bien connue, est utilisée pour définir la taille, toujours angulaire, de l'image du Soleil projetée sur un écran à l'aide de la petite lunette.

En chronométrant la durée de défilement de l'image solaire sur l'écran, on peut calculer l'angle puisque l'on connaît la vitesse angulaire de défilement.

Cette méthode se rapproche de celle par déplacement apparent décrite plus haut, mais est plus adaptée à l'observation solaire.

En effet, l'observation solaire est toujours délicate devant le risque de brûlure oculaire même si on peut utiliser un filtre pleine ouverture que l'on aura vérifié au préalable. Les méthodes par projection ne présentant pas ce risque, elles seront toujours préférées.

## 3

### 3. Analyse des programmes et manuels

#### 3.1. Notions abordées en cycle 3

##### 3.1.1. Au niveau des programmes

Dans *Sciences et technologie* (Bastien, 2002), notamment dans la partie « Le ciel et la Terre », le chapitre « Système solaire et Univers » porte sur la trajectoire du Soleil, sur le système Terre-Lune et ses conséquences (éclipses). Cela dit, le caractère elliptique des différentes orbites n'est pas à mettre en avant devant la difficulté qu'ont les élèves à comprendre les saisons. En effet, les différentes saisons, pour les élèves, sont souvent expliquées par une variation de la distance de la Terre par rapport au Soleil. L'hiver serait donc lié souvent à une plus grande distance Terre/Soleil, l'été à une plus courte distance.

Dans la partie « Lumière et ombres », l'utilisation des éclipses est proposée comme situation où la notion d'ombre est présente.

On peut néanmoins imaginer qu'avec les évènements astronomiques récents (passage de Vénus, éclipse annulaire d'octobre 2005, celle de 2006), ce phénomène a pu être abordé plus fréquemment que d'habitude.

##### 3.1.2. Analyse des manuels de cycle 3

Titre	<i>Sciences et technologie gulliver (Arvieu, 1999)</i>	<i>Sciences et technologie les savoirs de l'école (Hébrard, 1999)</i>	<i>Sciences cycle 3 (Rolando, 2003)</i>
Editeur	Nathan	Hachette	Magnard
Année d'édition	1999	1999	2003
Pages concernées	87	11 ; 16	146-147 ; 213-214
Types d'éclipses	solaire partielle et annulaire	solaire partielle et totale, lunaire p11, p16	solaire, lunaire P146-147
Eclipses annulaires	Traitées	Non traitées	Non traitées
Type de schématisation d'éclipse	Aucune (photos)	Profil	Profil 3D (plan de l'orbite lunaire)
Pages	Chapitre ciel et Terre, p87	Chapitre astronomie, p11	Chapitre ciel et Terre, p213
Diamètre apparent	Intrinsèque à la question posée	Non traité	Non traité

Tableau 3 Analyse des manuels de cycle 3

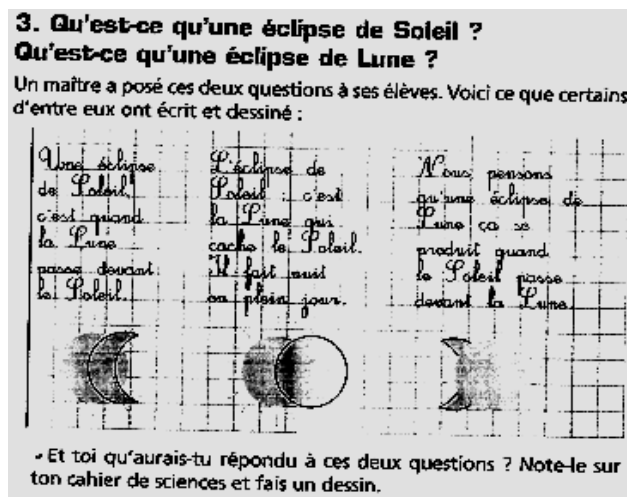


Figure 8, Exemple d'extrait de manuel : Eclipse solaire, et Lune en croissant (Magnard, p146).

On peut remarquer que ces manuels traitent toujours d'éclipse solaire (Tableau 3), sans toujours passer par une schématisation de ce phénomène. Néanmoins, les manuels étudiés ne sont pas homogènes sur les notions abordées car certains développent beaucoup ce point (Figure 8) d'autres non, mais on peut interpréter ces différences par le fait que les programmes ne mentionnent les éclipses que comme exemple.

Lorsque les éclipses sont expliquées et schématisées, on retrouvera dans la majorité des cas l'alignement Terre – Lune – Soleil vu de profil, avec parfois une photo du phénomène.

Les éclipses annulaires trouvent souvent leur place au sein de l'iconographie présente dans les manuels. En effet le manuel Nathan, dont l'éclipse annulaire est traitée sous forme de photographie (Figure 9), pose la question suivante :

« D'après toi, pourquoi le Soleil n'est-il pas caché de la même façon sur les deux photos ? ».

L'enjeu de la question étant ici de faire référence à la position de l'observateur et dans une plus large mesure à l'alignement observateur-Lune-Soleil.



Ces deux photographies du Soleil ont été prises vers 20 h (heure française) le 10 mai 1994, l'une à Toulouse (ci-dessus), l'autre au Maroc (ci-dessous).

Quel est le corps qui cache le Soleil ? Comment s'appelle ce phénomène astronomique ?

■ Explique sur un dessin comment il est possible de ne plus voir le Soleil pendant le jour.

D'après toi, pourquoi le Soleil n'est-il pas caché de la même façon sur les deux photos ?

Ce phénomène était-il visible de toutes les régions de la Terre éclairées par le Soleil à ce moment-là ?

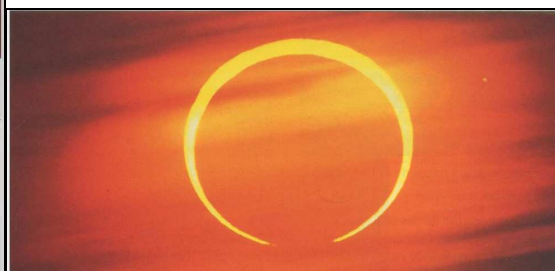


Figure 9, L'éclipse annulaire (Gulliver, p87).

### 3.2. Notions abordées en classes de collège

Les premières lignes du programme des collèges introduisent l'enseignement des sciences physiques en ces termes :

« A l'issue de ses études au collège, l'élève doit s'être construit une première représentation globale et cohérente du monde dans lequel il vit. Il doit pouvoir apporter des éléments de réponse simples mais cohérents aux questions : « Comment est constitué le monde dans lequel je vis ? »... »

Cette introduction indique que l'enseignement des sciences au collège doit être ancré dans le quotidien, ce qui semblerait argumenter la présence de l'astronomie à plusieurs niveaux.

#### 3.2.1. Programmes de 5<sup>e</sup>

Le programme des collèges en physique chimie pour les classes de cinquième aborde l'astronomie dans la partie consacrée à la propagation rectiligne de la lumière (Ministère de l'Education Nationale, 2005).

Notions – contenus	Compétences	Exemples d'activités
Système Soleil-Terre-Lune. Phases de la Lune, éclipses : interprétation simplifiée. <i>[École primaire : fiches 19 et 21, mouvement apparent du Soleil, Système solaire et Univers, cycle 3]</i> <i>[Géographie : le calendrier, les saisons]</i> <i>[Histoire des sciences : l'observation des astres et la naissance de la science]</i> <i>[Histoire des Sciences : le système solaire, la rotondité de la Terre]</i> <i>[Mathématiques : tangente à un cercle, 4e]</i> <i>[Technologie : architecture et habitat, 5e]</i> <i>[Technologie : environnement et énergie, 4e]</i>	Décrire simplement les mouvements pour le système Soleil-Terre-Lune. Interpréter les phases de la Lune ainsi que les éclipses. Prévoir le phénomène visible dans une configuration donnée du système simplifié Soleil-Terre-Lune.	Observation des phases de la Lune et des éclipses à l'aide d'une maquette et/ou par *simulation informatique et/ou par une séquence audiovisuelle (bien distinguer l'observation par un observateur terrestre de l'interprétation par un observateur extérieur au système Soleil-Terre-Lune). Observation quotidienne de la Lune, avec compte-rendu, sur une durée suffisante. *Recherche documentaire : cadran solaire, gnomon. <i>[B2i]</i> *Recherche documentaire : la prévision des éclipses, naissance d'une forme rudimentaire de science (empirisme)

Tableau 4 Extrait du programme des collèges

Même si la notion de pénombre est hors programme, les éclipses sont à interpréter et même à prévoir, ce qui laisse une place aux différents types d'éclipse et au diamètre apparent. En effet, la coïncidence qui définit que la Lune occulte le Soleil plus ou moins exactement indifféremment des proportions réelles des astres nécessitent l'utilisation du diamètre angulaire ainsi que des distances respectives.

Les fiches connaissances (Ministère de l'Education Nationale, 2003) insistent sur le fait de rappeler, par exemple lors de manipulation de sphères ou maquettes, les tailles réelles des astres. Sur ce principe, le fait que la Lune et le Soleil aient la même taille apparente doit pouvoir être expliqué. Certains ouvrages ont interprété le programme comme tel, on retrouvera donc des activités liées aux éclipses annulaires, expliquées grâce aux distances relatives des astres.

3.2.2. Analyse des manuels de physique-chimie 5<sup>e</sup> :

Titre	<i>Physique Chimie 5<sup>e</sup></i> (Beauvais, 2005)	<i>Physique Chimie 5<sup>e</sup></i> (Bazin, 2006)	<i>Physique Chimie 5<sup>e</sup></i> (Bramard, 2006)	<i>Physique Chimie 5<sup>e</sup></i> (Beaulieu, 2006)	<i>Physique Chimie 5<sup>e</sup></i> (Deaujean, 2006)
Editeur	Magnard	Bréal	Hachette	Didier	Hatier
Année d'édition	2006	2006	2006	2006	2006
Pages concernées	166-170	197-205	159-163	171-178	206-216
Type d'éclipse	solaire totale et partielle	solaire totale et partielle ; lunaire	solaire totale ; lunaire	solaire totale ; lunaire	solaire totale et partielle ; lunaire
Eclipses annulaires	traitées	traitées	Non traitées	Photo sans explication	Traitées
Type de schématisation d'éclipse	Mixte	Type tunnel	Profil	Profil	Profil
Diamètre apparent	Lié à une activité	p205, expérience sur le DA	rien	rien	Activité Aristarque

Tableau 5 Analyse des manuels de 5<sup>e</sup>

L'analyse des manuels de 5<sup>e</sup> met en évidence la présence des différents types d'éclipse, illustrés par des schémas et des photos. L'éclipse annulaire est mentionnée dans 4 ouvrages sur 5 et sert d'outil de réflexion sur les distances relatives de la Lune et du Soleil.

Certains manuels font directement référence au diamètre apparent, soit en reprenant la méthode d'Aristarque (cf. partie historique), soit en proposant une activité sur la modélisation des éclipses (Annexe).

Cette dernière activité met l'accent sur différents paramètres liés au diamètre apparent comme l'alignement et les distances entre les astres. L'activité propose de chercher à comprendre pourquoi la Lune et le Soleil semblent avoir le même diamètre.

La méthode employée pour répondre à cette question est de fabriquer des disques, avec des diamètres différents afin de représenter la Lune et le Soleil, et d'essayer de reproduire une éclipse totale de Soleil. La réponse sera enfin trouvée en comparant les rapports de distance respectives et les rapports de surface des astres. Cette comparaison nous semble d'ailleurs étonnante étant donné qu'habituellement sont comparés les diamètres apparents.

3.2.3. Programmes de 4<sup>e</sup> :

Un changement de programme déplace l'astronomie, qui était enseignée en 4<sup>e</sup>, en classe de 5<sup>e</sup>. Les manuels scolaires ont donc été étudiés sur les anciens programmes pour la classe de 4<sup>e</sup> et sur les nouveaux pour la classe de 5<sup>e</sup>.

3.2.4. Analyse des manuels de physique-chimie 4<sup>e</sup>

Titre	<i>Physique-chimie, 4<sup>ème</sup></i> <i>(Jourdan, 1999)</i>	<i>Physique-chimie, 4<sup>ème</sup></i>
Editeur	Hatier	NATHAN
Année d'édition	1999	2002
Pages concernées	150 ; 151	134 ; 135
Type d'éclipse	solaire totale ; lunaire	solaire totale et partielle ; lunaire
Eclipse annulaire	non traitée	non traitée
Schématisation	Profil	Profil et 3D (Figure 10)
Diamètre apparent	Exercice (ci-après)	non traité

Tableau 6 Analyse des manuels de 4<sup>e</sup>

L'analyse de manuels antérieurs à 2005 montre la présence de la notion d'éclipse solaire et lunaire avec un exercice sur le diamètre apparent dans le manuel de physique-chimie de 4<sup>e</sup> édité par Hatier (p156) (ci-dessous).

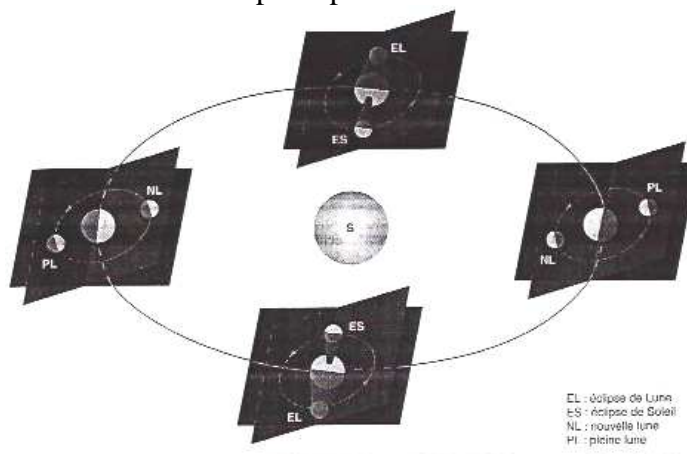
**23 Diamètre apparents et distances**

- a) Calculer le rapport :  $\frac{\text{distance Terre-Soleil}}{\text{distance Terre-Lune}}$
- b) Calculer le rapport :  $\frac{\text{diamètre du Soleil}}{\text{diamètre de la Lune}}$
- c) Quelle conclusion peut-on tirer de ces résultats à propos des éclipses de Soleil ?

Dans ce cas présent, le calcul des rapports de distance et celui des rapports de diamètre doivent permettre de trouver un résultat identique. Ce résultat peut amener à une réflexion sur le fait que les deux astres possèdent le même diamètre apparent et peut permettre de comprendre les éclipses totales de Soleil.

Dans les nouveaux programmes, l'astronomie n'est plus au programme mais il est indiqué, dans la partie optique, qu'il est possible au professeur d'observer des objets lointains à l'aide d'un télescope.

Il existe néanmoins des cadres possibles tels que les IDD (itinéraires de découverte) où des élèves de 4<sup>e</sup> vont pouvoir mener un projet sur un sujet de leur choix. On trouve des exemples de projets en astronomie encadrés par le GRAAL (Groupe de Recherche en Astronomie et Astrophysique du Languedoc) dans le cadre des IDD ainsi que par des associations d'animation scientifique, telle que Planète Sciences, qui propose et suit des projets en astronomie sur ce temps disponible.



15 La figure représente les plans des orbites de la Lune et de la Terre. L'angle entre les deux plans a été exagéré pour une meilleure observation.

Figure 10, Exemple de Schématisation 3D, chapitre 9, ombre et pénombre (Nathan, p135).



### 3.3. Notions abordées au Lycée

#### 3.3.1. Présence en seconde dans les programmes

Dans le bulletin officiel de sciences physiques dans la partie exploration de l'espace, deux chapitres sont consacrés à la présentation de l'univers et aux échelles de longueurs. On remarquera dans ce chapitre sur les échelles de longueurs (Ministère de l'Education Nationale, 2001, p21) et ordres de grandeur qu'il est proposé comme activité l'expérience historique d'Eratosthène de mesure du rayon terrestre.

On pourra retrouver de nombreux exemples d'utilisation du diamètre apparent dans les documents d'application des programmes dans la partie exploration de l'espace du chapitre « De l'atome aux galaxies ». En effet, la controverse Copernicienne que nous avons évoquée dans la partie historique est reprise comme illustration du diamètre apparent.

#### 3.3.2. Etude des manuels de sciences physiques

Titre	<i>Physique chimie 2de</i>	<i>Physique chimie 2de</i>	<i>Physique chimie 2de</i>	<i>Physique chimie 2de</i>
Editeur	Magnard	Nathan	Hatier	Bordas
Année d'édition	2004	2000	2000	2000
Pages concernées	15-25	26-27	184-196	36-46
Type d'éclipse	solaire totale, partielle	solaire totale et partielle	solaire totale et partielle	solaire totale et partielle ; lunaire
Eclipses annulaires	/	/	/	traitées
Type de schématisation d'éclipse	profil	profil	profil	profil
Diamètre apparent	Activité, cours, activité historique	Cours, exercice résolu	Activités et exercices	Activités et exercices, cas de la Lune et cas des éclipses ; autotest

**Tableau 7 Analyse des manuels de 2nde**

Dans les exercices ou les activités proposées aux élèves dans les manuels, le diamètre apparent est clairement défini comme un angle.

« On appelle diamètre apparent du Soleil l'angle sous lequel est vu le Soleil par un observateur terrestre » (Hatier, p184)

La notion sera présente de multiples fois; elle servira par exemple à évaluer le rayon de la Lune comme avait pu le faire Aristarque (cf. éléments historiques) en utilisant l'ombre de la Terre lors d'une éclipse lunaire (Magnard, 2004).

On retrouvera dans les différents manuels des séances de travaux pratiques mettant en œuvre la méthode comparative développée plus haut (cf. méthode de détermination) en utilisant une aiguille à tricoter ou des billes comme objet devant occulter la Lune en tendant le bras devant soi. Dans un autre cas, l'utilisation d'une perle aidera à la simulation d'une éclipse annulaire (Bordas, p44).

**De la Terre à la Lune**

**17) Diamètres apparents \***

Un soir de pleine Lune, on pose une perle de diamètre égal à environ 5 mm sur la pointe d'un crayon que l'on tient d'une main. Tout en visant la Lune d'un œil, on dispose la perle juste devant lui, de façon à occulter complètement la Lune. Puis on écarte progressivement la perle de l'œil, jusqu'à tendre complètement le bras.

1) Décrire la suite des observations. On admettra que le diamètre apparent de la perle tenue à bout de bras est d'environ 0,48°.

2) Quelle propriété concernant l'évolution du diamètre apparent d'une sphère en fonction de sa distance cette observation illustre-t-elle ?

Attention ! ne pas effectuer une telle expérience en visant le Soleil.

L'exercice présenté ici incite l'élève à faire la manipulation afin de se rendre compte qu'il est possible d'occulter la Lune avec une perle tenue à bout de bras.

L'invitation à modifier la distance entre l'œil et la bille va permettre de se rendre compte du phénomène d'éclipse annulaire et/ou partielle et a pour objectif de mettre en évidence l'influence de la distance sur le diamètre apparent. L'effet souligné ici étant que ce diamètre apparent diminue quand la distance objet-observateur augmente.

On retrouve aussi le lien entre les éclipses annulaires et les diamètres apparents à l'aide d'activités documentaires (photographies) (Bordas, p 41).

Dans un autre manuel, une autre méthode préconise la construction et l'emploi d'un sténopé pour mesurer le diamètre apparent du Soleil. Ces exemples nous montrent que plusieurs méthodes sont proposées, et ce dans plusieurs manuels distincts.

On constate que l'emploi de l'histoire des sciences est systématique en référence à Eratosthène et Aristarque ou encore Hipparque (Tableau 8). On retrouvera Anaxagore et son hypothèse de la Terre plate et du Soleil proche lors d'un exercice. La question qui ici est intéressante sera le calcul du diamètre réel du Soleil en fonction de sa distance présumée et de son diamètre apparent et l'incompatibilité avec le diamètre solaire réel (Bordas, p44).

Manuel	Pages	Référence historique	Phénomène Lié
Bordas	p36	Eratosthène	Rayon de la Terre
	p44	Anaxagore	Distance Terre-Soleil et diamètre du Soleil
	p45	Aristarque	Distance Terre-Soleil
Hatier	p196	Hipparque	Eclipses de Lune et diamètres
Magnard	p17	Aristarque	Distance Terre-Lune et diamètres
	p23	Anaxagore	Distance Terre-Soleil

**Tableau 8 Références historiques dans les manuels**

Une autre utilisation du diamètre apparent se retrouve dans les documents d'application des programmes sous la dénomination de la « technique du peintre » où le diamètre apparent sert à mesurer des tailles d'objets.

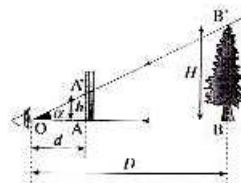
Cependant, l'utilisation du terme de diamètre apparent pour mesurer la hauteur des arbres comme dans l'exercice proposé dans le manuel Hâtier (Figure 11) semble un peu abusive, « l'angle apparent » ou la « hauteur apparente » semblerait plus appropriée.

**2.4. Utilisation du théorème de Thalès**

On peut déterminer de façon indirecte la dimension d'un objet en utilisant le théorème de Thalès. Cette technique, appelée visée, nécessite l'utilisation d'une règle graduée tenue à bout de bras. On mesure la longueur apparente AA' de l'objet (Doc. 6). Si l'on connaît la distance OA entre l'œil et la règle ainsi que la distance OB entre l'œil et l'objet, le théorème de Thalès permet de trouver la dimension BB' de l'objet :

$$\frac{OA}{OB} = \frac{AA'}{BB'} \text{ soit } BB' = \frac{AA' \times OB}{OA}$$

L'angle  $\alpha$  représenté sur le Doc. 6 est appelé diamètre apparent de l'objet. C'est l'angle sous lequel l'observateur voit l'objet.



Doc. 6. Principe de la mesure par visée.

**Figure 11, "Diamètre apparent" d'un arbre (Hâtier, p187).**

## 4

## 4. Analyse a priori des obstacles liés au concept

Les obstacles identifiés ci-après résultent d'études préalablement effectuées dans différentes recherches.

Dans la suite de ce travail, notre objectif sera d'essayer d'analyser les difficultés des élèves et éventuellement de proposer des éléments afin de les éviter.

### 4.1. Le diamètre apparent

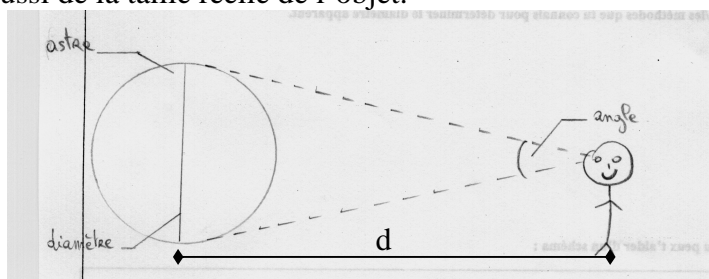
La figure suivante représente les liens entre la notion de diamètre apparent et les notions et méthodes explicitées dans les chapitres précédents. Les obstacles qui existent sur ces notions seront analysés et seront pris en compte dans notre analyse a priori.



Figure 12, Synthèse sur le diamètre apparent.

Ne figurent pas sur cette figure les obstacles liés au vocabulaire employé et à la définition des termes qui seront développés plus loin.

Le diamètre apparent, qui est un angle, dépend de la distance séparant l'observateur de l'objet ( $d$ ) mais aussi de la taille réelle de l'objet.



Des travaux ont montré que les élèves rencontrent des difficultés dans l'apprentissage du concept d'angle : ils définissent celui-ci comme une figure composée de deux segments de même origine. Ainsi, deux figures qui ne diffèrent que par la seule longueur des côtés leurs apparaissent comme représentant des angles différents (Munier, 2005).

L'objectif principal de l'enseignement de l'angle en cycle 3 est alors de leur faire prendre conscience que la longueur des « côtés » n'a pas d'importance sur la taille de l'angle et cela peut leur paraître un peu contradictoire.

Les très grandes dimensions (Unité astronomique, milliers de km) des astres et les rapports des tailles relatives (par exemple entre le Soleil et la Lune) peuvent aussi être un frein à la compréhension, et être difficile à conceptualiser.

Cela a pu être rencontré dans d'autres domaines astronomiques comme lors de l'étude sur la hauteur du Soleil dans des travaux sur la notion d'angle en cycle 3 (Merle et Munier, 2003) où par exemple « la distance du Soleil étant considérée comme très grande par les enfants ils ne peuvent se satisfaire d'une évaluation exprimée en cm ». Les élèves devant mesurer la hauteur du Soleil avec un outil de leur choix, ceux ayant utilisé un décimètre tendu à bout de bras se demandaient souvent par quel nombre multiplier leur résultat en cm.

Le diamètre, dans le langage courant, est une longueur (Longueur de la plus grande corde d'un cercle), or ici, le diamètre apparent est un angle. Ce terme sera donc une source supplémentaire de difficultés. L'erreur évoquée ici consiste à concevoir le diamètre apparent d'un astre comme son diamètre réel, cette longueur étant variable en fonction de sa position par rapport à un observateur. Il s'agira donc de voir si les élèves considèrent le diamètre apparent comme une longueur.

Dans un chapitre précédent, nous avons présenté différentes méthodes de détermination du diamètre apparent. En fonction de la méthode utilisée, on peut identifier des difficultés possibles. L'objectif de notre étude n'étant pas pour l'instant de mettre en place une séquence d'apprentissage, ces méthodes évoquées seront reprises par la suite afin d'en discuter les limites et leurs adéquations avec le niveau des élèves.

Les méthodes décrites précédemment utilisent des objets astronomiques réels et non des modèles. On peut aussi utiliser des sphères et des lampes torche et vérifier les conditions d'occultation des spots lumineux, pour rebondir ensuite sur des observations réelles des astres. Ce type de méthode par analogie ou par modélisation peut fournir des obstacles pour d'autres notions en astronomie comme par exemple l'aspect solide et matériel des objets célestes ou la directivité de la lumière solaire.

En effet l'aspect solide et matériel des boules utilisées pour modéliser les planètes n'est pas en accord avec les planètes géantes gazeuses qui sont habituellement observées et desquelles on peut être amené à mesurer des diamètres apparents.

En effet, outre l'étude de la Lune et du Soleil, il semble plus aisé de mesurer le diamètre apparent des planètes géantes Jupiter et Saturne plutôt que Mercure ou Vénus en raison de leur proximité du Soleil.

L'étude particulière des éclipses soulève le problème de la formation des ombres et du trajet rectiligne de la lumière. Hélène Merle rappelle que « des difficultés liées à la notion de trajet rectiligne de la lumière ont été soulignées à plusieurs reprises (Guesne, Tiberghien et Delacôte, 1978 ; Kaminski, 1989) : *'Environ un tiers des élèves [de 13-14 ans] fait correctement appel à la notion de trajet rectiligne de la lumière pour prévoir la grandeur de l'ombre d'un bâton.'* »

## 4.2. Variabilité de l'iconographie

L'étude des manuels scolaires, des ouvrages d'astronomie ou des sites internet a permis de mettre en évidence une grande variabilité de la schématisation des éclipses.

Pourtant, cette variabilité peut même parfois être une source de confusion même pour des organismes faisant référence en astronomie (IMCCE).

En ce qui concerne la représentation des éclipses, trois grandes familles de représentation existent (sans compter les photographies). En effet, nous pouvons avoir des représentations de profil assez classiques, des représentations en 3 dimensions et des vues de face.

### 4.2.1. Les éclipses vues de profil

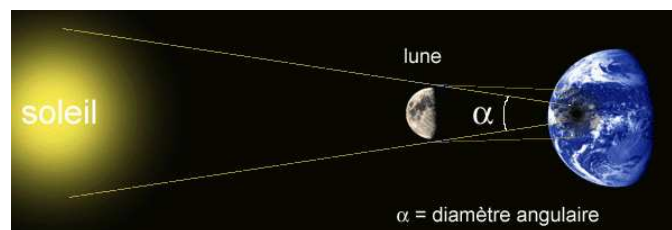


Figure 13, Éclipse solaire de profil avec chemin optique.

On retrouve très souvent cette schématisation, avec plus ou moins de détails. Le chemin optique n'est pas toujours représenté avec le même niveau de détails, de même que l'ombre portée sur la Terre (Figure 13)

Cependant, même si les différences de diamètres sont clairement présentes, il peut sembler difficile de comprendre lors des éclipses annulaires, que les distances relatives des différents astres puissent être à l'origine de l'anneau lumineux s'il n'y a qu'un seul schéma.

### 4.2.2. Les représentations en 3 dimensions

Très rares, ces représentations prennent en compte l'orbite inclinée de la Lune. Ce point est important lorsque l'on veut expliquer qu'il n'y a pas d'éclipse de Soleil à chaque nouvelle Lune ou d'éclipse de Lune à chaque pleine Lune et ainsi expliquer la différence entre les phases de la Lune et les éclipses (Figure 14).

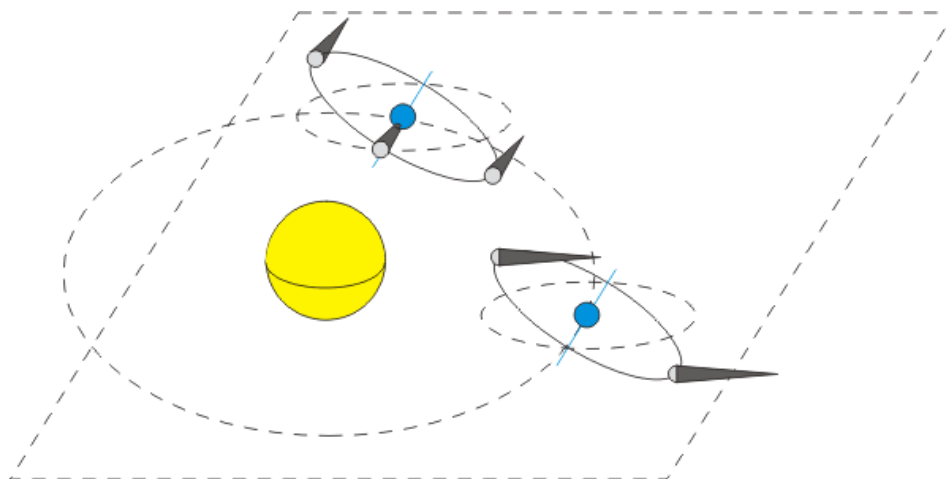


Figure 14, Modèle 3D du système Terre Lune Soleil (TLS).

Néanmoins, ce modèle semble assez inadapté pour mettre en évidence les différents diamètres apparents et les distances, l'effet de perspective venant s'ajouter aux autres phénomènes.

### 4.2.3. Les éclipses vues de face

Ce mode de représentation est le plus proche de notre expérience sensible et peut être directement comparé à des photographies d'éclipse.

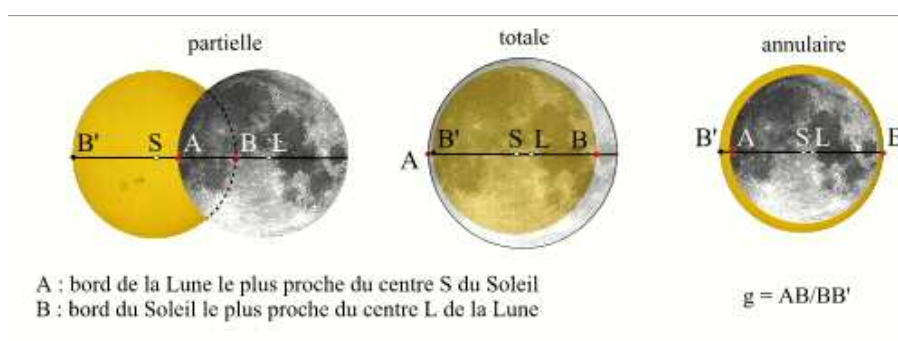


Figure 15, Eclipse vue de face, statique (IMCCE).

Sans expliciter l'alignement Terre-Lune-Soleil, cette schématisation permet de comprendre les différences entre les éclipses en terme de diamètre apparent et alignement (Figure 15).

On distingue des modèles statiques et des modèles dynamiques. La figure suivante (Figure 16), plus abstraite que la précédente ajoute un aspect dynamique grâce à la flèche symbolisant le déplacement de la Lune.

On regrettera ce dernier point qui occulte le déplacement de la Terre sur son orbite et donc le déplacement apparent du Soleil.

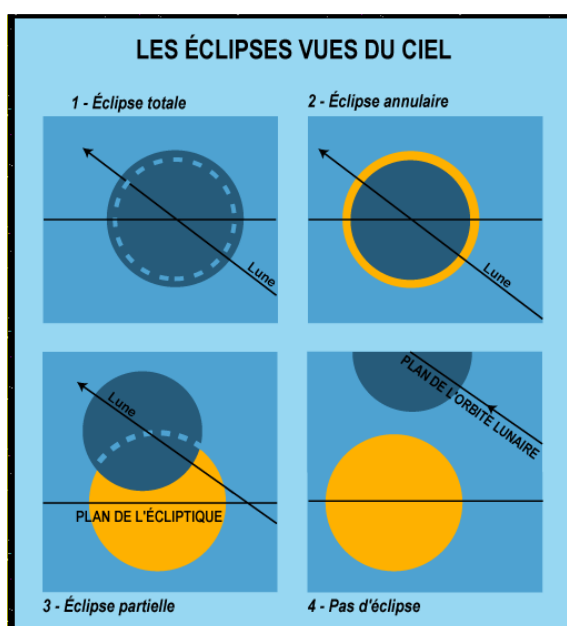


Figure 16, Eclipse vue de face, dynamique.

#### 4.2.4. Le cas particulier des éclipses annulaires

Les éclipses annulaires se distinguent des éclipses totales simplement par les distances séparant la Lune de la Terre et du Soleil (Figure 17).

Certains auteurs le mentionnent correctement alors que d'autres emploient des schémas qui risquent de créer chez les élèves le « symptôme de la Lune gonflante » (Figure 18).

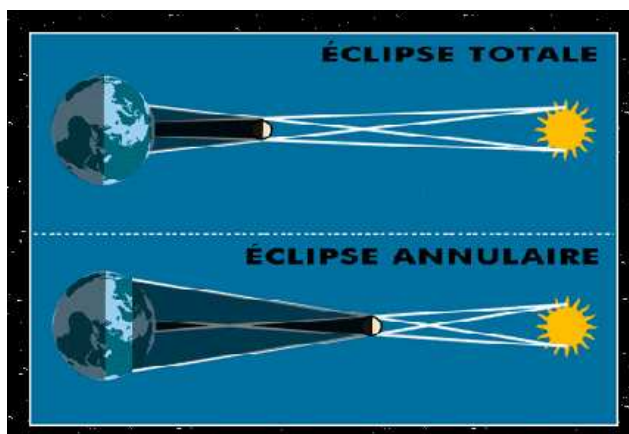


Figure 17, L'éclipse annulaire.

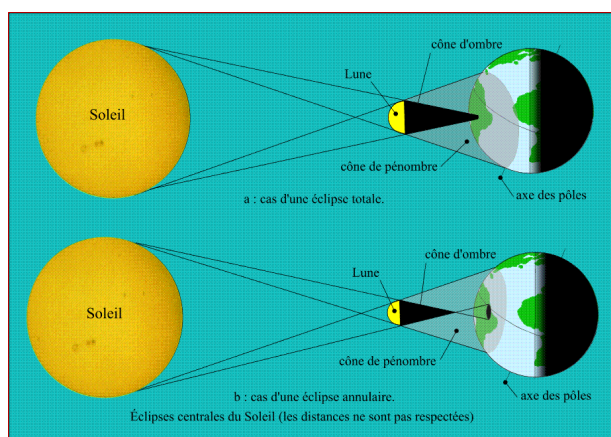


Figure 18, Effet de "Lune gonflante" (IMCCE).

En effet, on peut remarquer sur ce schéma que la Lune change de diamètre alors que sa distance par rapport au Soleil ou la Terre ne change pas. Cette « erreur » peut se retrouver aussi avec les variations régulières de volume du Soleil (Annexe 4) pouvant potentiellement, et avec inexactitude, expliquer la différence entre éclipse annulaire et totale ; ce qui peut donc créer un obstacle didactique (Joshua, 2003). On peut penser en effet que le mode de représentation peut avoir une influence sur la compréhension des élèves.

Enfin, on peut penser que l'utilisation d'un seul schéma semble insuffisante pour expliquer le cas particulier des éclipses annulaires. Cette représentation doit à la fois faire ressortir l'alignement des astres et leurs recouvrements relatifs aux diamètres apparents. On peut donc pour cela utiliser deux schémas différents, ou un mélange des deux comme nous avons pu le voir à la Figure 7 (p8).

# 5

## 5. Recueil de témoignages d'acteurs de la diffusion de l'astronomie

La notion de diamètre apparent, comme expliqué plus haut, est essentielle pour la compréhension des différents types d'éclipses.

Nous avons choisi d'interroger des personnes en lien avec la diffusion de concepts astronomiques, pour tenter de jauger de l'importance accordée à ce concept mais aussi pour connaître les difficultés qu'ils rencontrent et les méthodes qu'ils utilisent pour mesurer des diamètres apparents.

### 5.1. Présentation du questionnaire

Afin de faire un état des lieux sur l'utilisation, explicite ou non, de la notion de diamètre apparent, un questionnaire a été envoyé par e-mail à différents acteurs de la diffusion (292 envois) de la culture astronomique. Ceux-ci ont été choisis dans des structures différentes en fonction de leurs habitudes à diffuser, animer ou former (sont donc exclues les associations de pratiquants) :

- observatoires
- associations d'astronomes
- lieux de vulgarisation (musées, expos)
- clubs scolaires ou extrascolaires
- associations d'animation scientifique
- professeurs des écoles ayant ou non observé les éclipses d'octobre et mars.

Les questions posées se répartissent en plusieurs catégories. Les premières questions cherchent tout d'abord à situer les cadres d'activité et les matières abordées ou enseignées.

Le cadre étant posé, le reste du questionnaire avait pour but de savoir si la notion de diamètre apparent est utilisée, si les éclipses sont expliquées et si la différence entre une éclipse totale et une éclipse annulaire était liée au diamètre apparent.

Les personnes interrogées ont aussi été invitées à décrire le cas échéant, leur méthode utilisée pour déterminer les diamètres apparents et la différence entre les éclipses totales et annulaires.

Les personnes ayant répondu ont tout d'abord montré un intérêt certain pour le questionnaire, montrant par là que des sollicitations ultérieures étaient possibles.

Le questionnaire a été réalisé sous forme d'un fichier « pdf » éditable directement sur le document ; c'est-à-dire qu'après réception par messagerie électronique, il était possible de répondre aux questions dans des zones prévues auparavant. Une fois rempli, le document pouvait soit être imprimé puis retourné par courrier, soit renvoyé directement par messagerie.

Le questionnaire était volontairement concis, contenu sur une page A4 et avec peu de questions, dans le but d'inciter les participants à répondre. L'avantage du format électronique est qu'il permet de laisser des champs éditables d'une taille extensible, pour répondre aux questions posées.



Ce mode de diffusion et réception par courrier électronique a permis de traiter rapidement et de manière homogène les retours des questionnaires et a pu simplifier son remplissage par les participants.

Cette méthode a pu montrer son intérêt et aussi ses limites. Des problèmes de compatibilité sont apparus, corrigés par une autre forme de diffusion (contenu à télécharger directement sur internet). Puis un problème de taille de fichier trop importante a été immédiatement suivi d'un allègement du fichier.

## 5.2. Analyse des questionnaires

21 questionnaires sont revenus complétés dont 5 par courrier postal. Nous obtenons le tableau de réponses suivant :

<b>Profils</b>			
	animateurs	PE	autre
effectif	16	3	3
proportion	0,76	0,14	0,14
<b>Cadres</b>			
	scolaire	extra-scolaire	club
effectif	18	14	6
proportion	0,86	0,67	0,29
<b>Utilisation du DA</b>			
	oui	non	rien
effectif	15	6	0
proportion	0,71	0,29	0,00
<b>Eclipses</b>			
	oui	non	rien
effectif	17	3	1
proportion	0,81	0,14	0,05

**Tableau 9 Réponses au questionnaire  
(PE : Professeur des écoles ou des collègues)**

- Milieux

Une grande majorité des personnes interrogées (16) ont répondu en tant qu'animateur, même si parmi ces personnes, certaines étaient professeurs des écoles ou des collègues.

Sur ce point, on remarquera que c'est en majorité dans le milieu scolaire (18/21) qu'ils effectuent leurs activités astronomiques même s'ils interviennent aussi dans le milieu extra-scolaire.

En particulier, l'animation en Planétarium est effectuée dans différents cadres : sur le temps scolaire ou sur le temps de loisir, de même que dans le cadre de « classes sciences ».

- Classes concernées

Une question sur les tranches d'âges concernées par les activités a été posée. Dans une majorité des cas, il s'agit d'élèves de cycle 2 et 3. Dans la moitié des réponses cependant, des élèves de classe supérieures (6<sup>e</sup> à Terminale) semblent aussi concernés.

- Contenu du questionnaire

On se rend compte que le diamètre apparent est une notion qui est abordée dans 70% des cas (15 réponses).

L'utilisation du diamètre apparent est variable, il sert tour à tour dans l'explication des éclipses ou dans la comparaison de diamètres différents (planètes, objets). On retrouve en effet la méthode comparative utilisant la pièce de monnaie, ou encore celle utilisant le décimètre bras tendu (voir paragraphe sur les méthodes de détermination).

La question relative aux éclipses annulaires et aux éclipses totales nous informe sur le fait que la plupart des animateurs (17/21) abordent cette différence. Cependant, n'utilisant pas tous la même méthode, certains exposent le phénomène grâce à des maquettes en deux ou trois dimensions (disques tendus à bout de bras, boules de différentes tailles) ; d'autres l'abordent par des activités documentaires, à base de photographies sur les éclipses.

Parmi les réponses données, on peut trouver par exemple :

« On a fabriqué une maquette en 3D au sein de l'association (avec lampe, boules pour planètes et jeux d'ombre). »

« ...En faisant des expériences avec deux disques tenus à différentes distances l'un de l'autre par rapport à un observateur fixe. »

« ...En leur montrant des photos d'éclipses différentes. »

Cette année, nous avons pu observer en France deux éclipses solaires, une annulaire et une totale. Cette actualité a permis d'effectuer pour de nombreuses classes des observations directes ce qui a pu apporter une raison supplémentaire d'aborder la différence entre éclipse totale et annulaire.

Enfin, il a été difficile de mettre en évidence des difficultés sur la compréhension de ces notions qu'ont pu rencontrer les animateurs, 12 d'entre eux avouent en effet ne pas avoir de problèmes particuliers par rapport au passage de ces notions. On retrouve néanmoins quelques remarques sur les échelles de distances, sur les problèmes liés aux schémas imprécis sur les cônes d'ombre.

« ...problèmes liés aux échelles de distances et tailles, traitées par une modélisation de type balles. »

« ...oui sur la différence de distance entre soleil lune terre, et pourquoi ils ont le même diamètre apparent. »

On pourra remarquer aussi que les petites classes auront plus de mal avec ces notions que les plus grandes, plus particulièrement avec le concept d'angle. A la question, avez-vous rencontré des difficultés pour aborder ces notions, un ancien professeur de mathématiques, aujourd'hui animateur de planétarium nous explique :

« C'est plus délicat avec des élèves de primaire qui ne maîtrisent pas la notion d'angle et de mesure d'angle »

Ce questionnaire nous a permis de nous rendre compte, dans une première approche, de l'utilisation de la notion de diamètre apparent et de sa perception par des animateurs.

Les réponses ont permis de confirmer l'utilisation des méthodes de détermination citées plus haut en nous donnant une première idée sur celles les plus fréquemment employées, en l'occurrence les méthodes comparatives. Enfin, les difficultés évoquées ici correspondent à celles énoncées précédemment sur les distances et sur les angles.

## 6

## 6. Enquête auprès d'élèves

### 6.1. Analyse a priori

Les questionnaires à destination des élèves ont été construits à partir de l'analyse a priori des obstacles liés à la notion de diamètre apparent.

Dans un premier temps, nous avons posé des questions sur les éclipses et la position relative des astres du système solaire aux élèves afin de pouvoir interpréter correctement la suite des questions.

Dans un second temps, des questions de définition et des applications du diamètre apparent ont été posées en étant adaptées aux différentes classes, ce qui nous a permis d'élaborer 3 questionnaires, une version école, une version collège et une version lycée.

Nous nous sommes attachés, dans les questionnaires, à interroger les élèves sur les points suivants :

- Les éclipses totales et annulaires
- L'influence de la distance et de la taille des objets sur le diamètre apparent
- La définition du diamètre apparent et son unité
- Des méthodes de détermination du diamètre apparent
- Des exemples d'application de cette notion

### 6.2. Population

En dehors des phases de pré-test, les différentes versions du questionnaire adaptées aux classes ont été posées auprès de 200 élèves répartis dans différentes classes et différents établissements de la région.

Nous avons travaillé avec les écoles et lycées dans les classes suivantes :



- Ecole : CM1 et CM2

Pour la classe de CM1 :

Une classe de CM1 de l'école de Palavas, une classe de Pomérols et deux classes d'Agde ont été impliquées dans l'étude.

Pour la classe de CM2 :

Une classe de CM2 de l'école de Palavas, une classe de Pomérols deux classes d'Agde et une classe de St Laurent des arbres ont aussi été sollicitées.

o Collège :

En 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup>, plusieurs classes de Perpignan et Canet en Roussillon (66) ont été sollicitées, mais en raison des grèves à répétition elles n'ont pu prendre le temps nécessaire à la réalisation du questionnaire. On retrouvera le même problème avec des classes de 3<sup>e</sup> de Montpellier dans lesquelles les enseignants s'étaient pourtant engagés.

o Lycée :

Une classe de seconde du Lycée Arago de Perpignan a pu être interrogée sur ces questions. D'autres classes engagées aussi dans l'étude n'ont pu être interrogées en raisons des grèves. D'autres classes devaient aussi être interrogées durant l'éclipse du 29 Mars aussi bien en Turquie que dans les Pyrénées orientales, mais un problème d'organisation a rendu l'étude inexploitable.

### 6.3. Résultats du questionnaire école, classes de cycle 3

Les données recueillies dans les classes de CM1 et CM2 ont été traitées séparément et sont représentées indépendamment sur les différents graphiques. Cependant, cette différence de classe n'est pas utilisée dans les analyses à cause d'un manque de précision sur le contenu des enseignements en sciences :

Une classe de CM2 et une de CM1 à Agde ont plus particulièrement préparé les éclipses qu'ils ont ensuite observées. Dans cette préparation les maîtres ont mis en œuvre des activités avec des maquettes du système Terre-Lune-Soleil et des temps de schématisation. Pour les autres classes qui ont dit ne rien avoir fait, nous pouvons supposer qu'une explication, même partielle, a pu être donnée autour de l'observation des éclipses.

#### 6.3.1. Question 1 : Qu'est-ce qu'une éclipse de Soleil ? Ecris et dessine ce que tu sais.

Dans un premier temps, il est nécessaire de connaître la familiarité qu'ont les élèves avec les éclipses afin de pouvoir interpréter les questions sur le diamètre apparent.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	faux
2	incomplet
3a	correct face
3b	correct profil
5	Lune croissant

La réponse à cette question met en avant deux points importants, la présence de la Lune et l'alignement des astres dans l'ordre Terre – Lune - Soleil

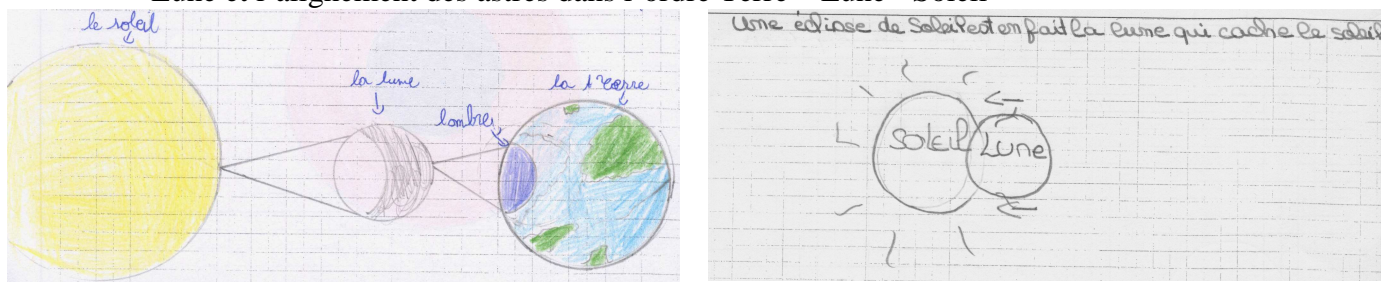


Figure 19, Schémas d'éclipse solaire, de profil et de face.

Ce que l'on entend par « faux » est une réponse qui n'a pas de lien avec la question, autrement dit hors sujet. Une réponse incomplète ne possède pas tous les éléments de réponse attendus, soit la présence de la Lune manque, soit l'alignement des astres n'est pas mentionné. Les réponses considérées comme correctes sont divisées en deux groupes, une vision de face ou de profil du système Terre – Lune – Soleil.

Enfin, lors de l'analyse des questionnaires, un élément supplémentaire est apparu avec la représentation de la Lune comme un croissant et non comme un disque plus ou moins ombré (Figure 20).

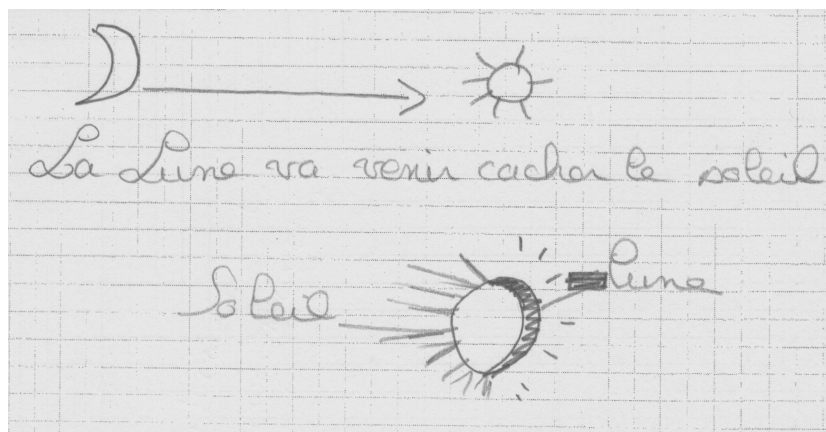


Figure 20, Utilisation du croissant de Lune.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

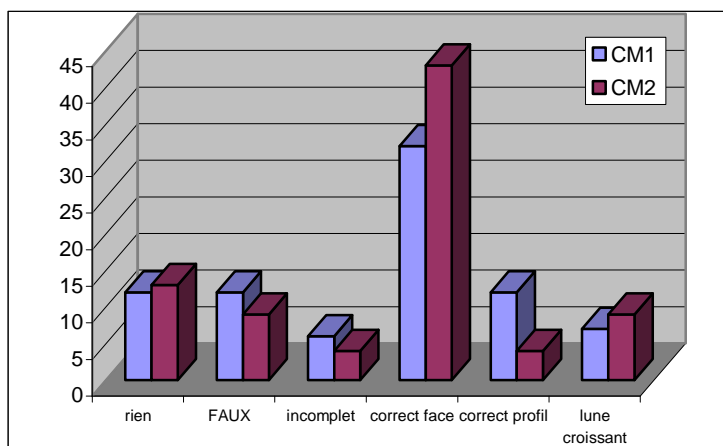


Figure 21, Réponse à la question 1.

Nous pouvons remarquer, avec 75 réponses « correct face », que le phénomène d'éclipse est relativement connu par près de la moitié des élèves.

En ajoutant les réponses correctes vues de profil, nous obtenons 91 réponses correctes ce qui fait 62% des élèves.

Dans le cas des éclipses dessinées de face, nous obtenons une description de ce qu'ils ont vu ou observé alors que quand les élèves dessinent les éclipses de profil, nous avons en outre une explication du phénomène (Figure 19).

6.3.2. *Question 2 : Décris ce que tu as vu et ce que tu as compris de l'éclipse du 29 mars 2006.*

Le 29 mars 2006 a eu lieu une éclipse solaire totale, partielle en France. Pour certains élèves, c'était la seconde occasion récente d'observer une éclipse après l'éclipse annulaire du 3 octobre 2005. Une équipe d'animateurs scientifiques (Planète sciences) a eu l'occasion d'accompagner des classes sur des projets liés à cette éclipse, et même d'aller l'observer en Turquie, Libye et Niger dans la bande de totalité.

Lors de cette éclipse nous avons pu recueillir les réactions d'enfants sur Perpignan pendant l'observation. Ces enfants présents dans le cadre d'un centre de loisirs, d'âge compris entre 7 et 12 ans, ont eu l'occasion d'observer l'éclipse grâce à plusieurs systèmes mis en place. Ils pouvaient en effet observer le Soleil à l'aide de filtres de forme et couleurs différentes, afin de s'affranchir du biais apporté par la couleur du Soleil filtré.

Dans un second temps, un système par projection (solarscope) permettait d'avoir une image agrandie du Soleil sur un écran en carton, et enfin l'utilisation du télescope complétait l'observation par des grossissements différents.

Nous avons remarqué, lors des observations des enfants, qu'il était très difficile pour eux de savoir quoi observer et où. En effet, les optiques étant souvent rondes (oculaire, télescope, filtres), l'image blanche circulaire du Soleil n'était pour eux que ce qu'il était normal d'observer, ils ne « voyaient » pas le Soleil. L'apparition du croissant dû à la Lune et quelques tâches solaires a pu permettre aux enfants de « voir » où se trouvait le Soleil dans l'instrument. Cependant, l'image du croissant obtenue, les enfants croyaient voir la Lune blanche à la place du Soleil occulté. Tout ceci laisse donc penser qu'une observation directe du phénomène possède beaucoup de variables didactiques à maîtriser.

Dans un premier temps, cette question a tout simplement permis de connaître le nombre d'enfants qui ont eu l'opportunité d'observer une éclipse. Dans un second temps, cette question nous permettra de savoir si la compréhension du phénomène d'éclipse a pu être renforcé par une observation.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Autre
2	Eclipse
3	Occultation (Vénus 2004)

Les réponses données ont été regroupées en 5 catégories. La première catégorie correspond aux élèves qui n'ont pas pu observer le phénomène (cat. 0, rien).

Certaines réponses, simplement descriptives, ont permis de mettre en évidence un biais dans l'observation d'une éclipse avec des Lunettes filtres (cat. 1, Autre). L'image blanche du Soleil formée par le filtre a été interprétée par dix élèves comme un croissant de Lune.

Le croissant formé par le Soleil masqué par la Lune indique que cette dernière se trouve devant. Or, si les enfants ont cru apercevoir un croissant de Lune, c'est alors elle qui devait être masquée par un autre astre, le Soleil. Dans ces réponses des élèves, nous retrouvons l'effet que l'on avait pu observer lors de l'observation de l'éclipse.

Le transit de Vénus de 2004 a vraisemblablement pu être observé par quelques élèves, qui ont confondu ce phénomène d’occultation avec celui évoqué par la question (Figure 22).

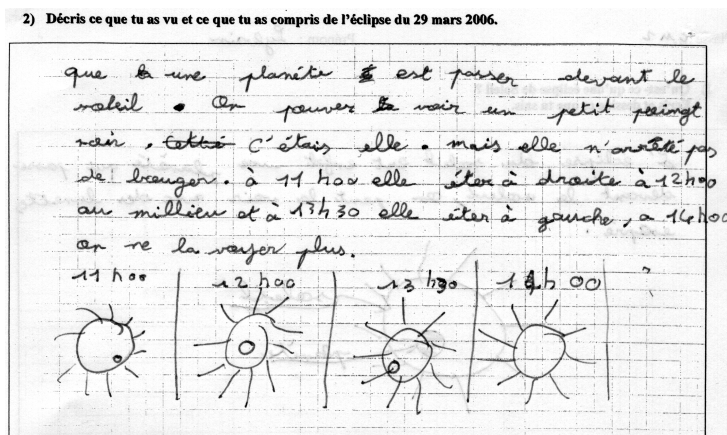


Figure 22, Schéma de transit planétaire (Sylvain, CM2).

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

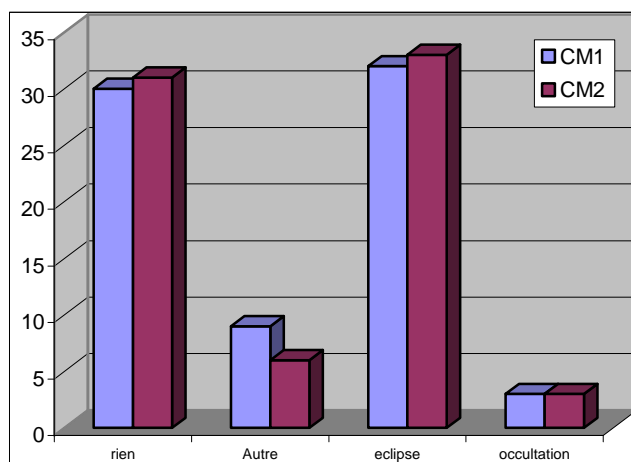


Figure 23, Réponse à la question 2.

Au vu des résultats, près de la moitié des élèves (65/147) se souviennent d’avoir observé une éclipse (en octobre ou mars), alors que nous sommes presque sûrs que 80 élèves (toutes les classes d’Agde) ont pu l’observer.

Pour aller plus loin, nous avons croisé les données entre les élèves qui ont pu observer l’éclipse et ceux qui expliquent correctement le phénomène afin de voir s’il y a une corrélation.

Q1 :Eclipse	Observée (65 élèves)		Non observée (61 élèves)	
	effectif	proportion	effectif	proportion
Réponses « correctes »	47	72%	31	51%
autres	14	22%	16	26%
Absence	4	6%	14	23%

Tableau 10 Réponses des élèves ayant observé l’éclipse



Les élèves ayant observé l'éclipse répondent davantage (94%) que ceux ne l'ayant pas observée. L'observation de l'éclipse semble bien avoir eu un impact sur la capacité des élèves à expliquer et décrire le phénomène, en effet 72% des élèves ont répondu correctement au lieu de 51%. Cependant, cette différence que l'on peut observer sur les réponses correctes obtenues à cette question 1 est vraisemblablement due au fait qu'il y ait eu une explication, même sommaire, du phénomène d'éclipse avant ou après l'éclipse.

On peut remarquer, grâce au tableau en Annexe 1 où figurent toutes les réponses des élèves ayant observé l'éclipse que cela a peu d'effet sur les questions suivantes (3, 4, 5).

6.3.3. *Question 3 : On observe parfois comme en Août 1999 des éclipses totales (la Lune cache complètement le Soleil pendant quelques minutes), mais il arrive aussi que lors d'une éclipse de Soleil la Lune ne masque pas complètement le Soleil (éclipses annulaires) :*



Eclipse totale



Eclipse annulaire

*Essaie d'expliquer les différences avec des phrases ou des schémas faisant figurer la Terre, la Lune et le Soleil.*

La réponse à cette question est complexe. La différence que l'on observe entre ces deux éclipses est due au fait que la Lune est plus ou moins proche du Soleil. L'orbite de la Lune étant une ellipse, sa distance à la Terre est de 356 400 km au périhélie et portée à 406 700 km à l'apogée, pour une distance moyenne de 384 401 km. La distance maximale expliquant le phénomène d'éclipse annulaire.

Cette question s'est avérée être la plus difficile. Les élèves ont pratiquement à chaque fois demandé des explications ou des précisions sur la consigne. Cette demande de précision était centrée sur les photographies ce qui laisse penser qu'elles n'étaient pas suffisamment adaptées à la question posée.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	faux
2	Simple description du schéma
3	problème de distance
4	« Lune gonflante »
5	Explication complète
6	Biais dû au schéma

Les réponses fausses ont été classées en plusieurs catégories différentes. Certaines sont liées au document lui-même : les élèves décrivent la chronologie des images d'éclipse (biais du schéma). D'autres élèves intercalent la Lune entre le Soleil et la Terre mais ne pourront pas différencier l'éclipse annulaire de l'éclipse totale.

Enfin d'autres seront liées au phénomène de « Lune gonflante », où l'explication de l'occultation plus ou moins complète sera liée à des tailles de Lune qui vont changer. Dans



ce dernier cas, les élèves ont pu trouver un moyen, même faux, de faire varier le diamètre apparent. Aussi, nous obtenons des simples descriptions de la question elle-même.

Certains élèves (9/147) ont tout de même réussi à donner des réponses précises et complètes, ce qui laisse penser que la question était compréhensible (Figure 24).

Ces remarques et les résultats obtenus peuvent permettre de reformuler la question posée, en précisant le rôle des deux chapelets d'éclipse, nous aurions pu ajouter que les différentes photos correspondent à des moments différents, mais que celui qui nous intéresse est encadré en blanc.

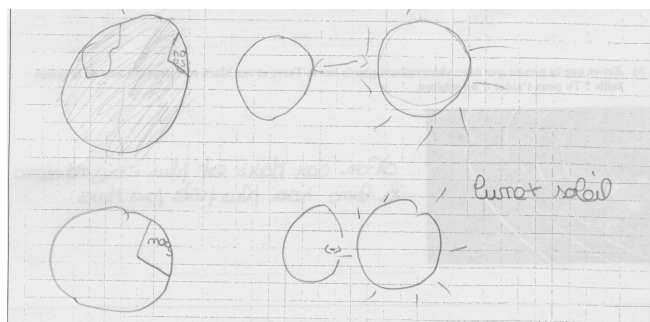


Figure 24, Les éclipses annulaires.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

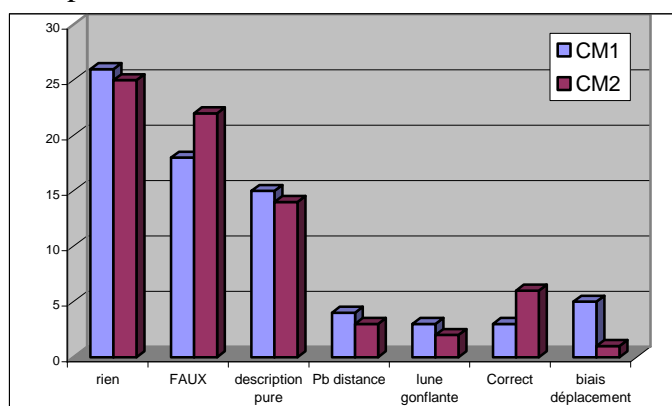


Figure 25, Réponse à la question 3.

Une majorité d'élèves n'ont pas répondu à la question (51/147), 40 n'ont pas répondu correctement, 29 ont simplement décrit les photographies d'éclipse. Ces résultats intéressants mettent en évidence une difficulté.

La question n'ayant pas forcément été comprise par tous les élèves il faut tout de même être prudent sur l'analyse des résultats d'autant qu'au regard des questions précédentes, la moitié des élèves ne peuvent pas expliquer le phénomène des éclipses en général.

De ce fait, si l'on ne prend en compte que les réponses des élèves décrivant correctement les éclipses totales, nous obtenons que sur les 9 réponses correctes, 6 (66%) sont issues d'élèves ayant su expliquer les éclipses.

Parmi les 27 élèves qui ont proposé une explication, on remarque l'élément évoqué dans l'analyse des schémas que l'on peut appeler d'effet de « Lune gonflante ». Cet effet se retrouve auprès de 5 élèves qui proposent une hypothèse ad hoc pour expliquer la différence dans le sens où la Lune va changer de taille pour masquer plus ou moins le Soleil (Figure 26).

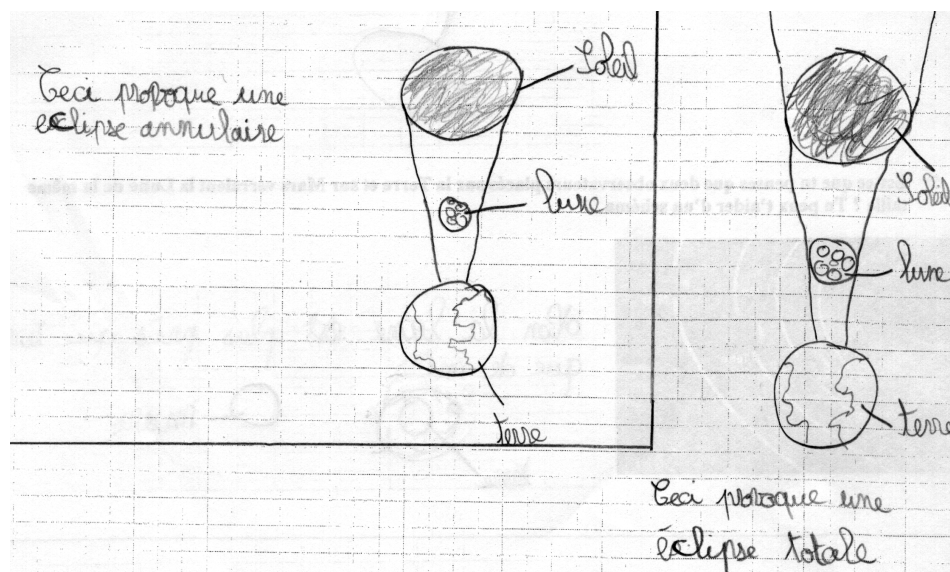


Figure 26, Effet de "Lune gonflante".

Enfin, 6 élèves ont interprété les chapelets d'éclipse comme une évolution temporelle et ont analysé le déplacement du Soleil ou de la Lune. Ils ont donc expliqué une des éclipses sans répondre à la question.

Si l'on prend en compte les élèves ayant su expliquer le phénomène des éclipses, nous nous rendons compte dans le Tableau 11 que cela a peu d'effet sur cette question. Nous remarquons néanmoins que les élèves ont une plus grande tendance à répondre à la question comme on a pu le voir lors de la question 1.

Q3	Ont expliqué (91)		N'ont pas expliqué (56)	
	effectif	proportion	effectif	proportion
Réponses « correctes »	6	7%	3	5%
autres	53	58%	20	36%
Absence	32	35%	33	59%

Tableau 11 Réponses des élèves en fonction de leurs réponses correctes à la question 1

6.3.4. *Question 4 : Certains soirs, quand on voit la Lune, on peut la cacher avec son pouce, et pourtant on sait bien qu'un pouce est beaucoup plus petit que la Lune, essaie d'expliquer cela avec des phrases et un dessin.*

Cette question, cherchant à comparer la taille d'un pouce à celle de la Lune, a comme cible de chercher l'influence de la distance entre les deux objets et l'observateur tout en prenant en compte les tailles très différentes des objets.

Deux types de réponses sont attendus, celui mettant en jeu les distances relatives des deux objets (catégorie « pouce près, Lune loin ») et celui ne mettant en jeu que l'éloignement d'un seul objet (catégorie « incomplet »).

Quand un objet s'éloigne de l'observateur, sa taille apparente devient négligeable. Sa luminosité diminue (Figure 27) à tel point que ces deux phénomènes font que l'objet peut même aller jusqu'à disparaître et peut donc être masqué avec n'importe quel objet. Cependant lorsque l'objet à masquer et le pouce sont relativement éloignés de l'observateur, la distance entre les objets ne devient plus négligeable.

Dans le cas qui nous intéresse, la Lune peut être masquée exactement si le pouce est à la bonne distance de l'œil, les distances œil-Lune et œil-pouce sont alors les distances qui permettent d'expliquer le phénomène.

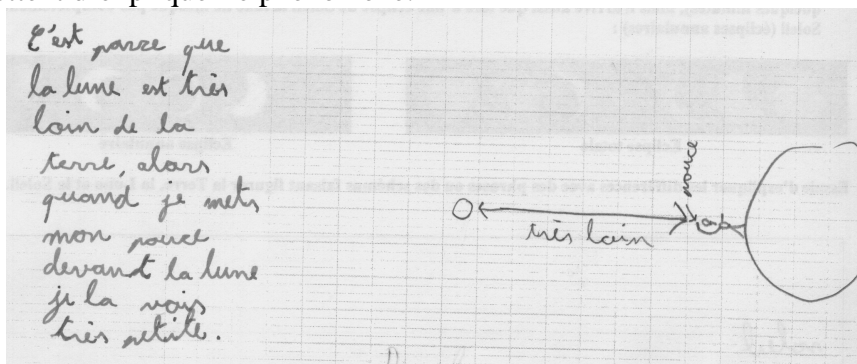


Figure 27, Effet simple d'éloignement.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	Rien
1	Incomplet, distance, pouce
2	Correct, pouce près, Lune loin

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

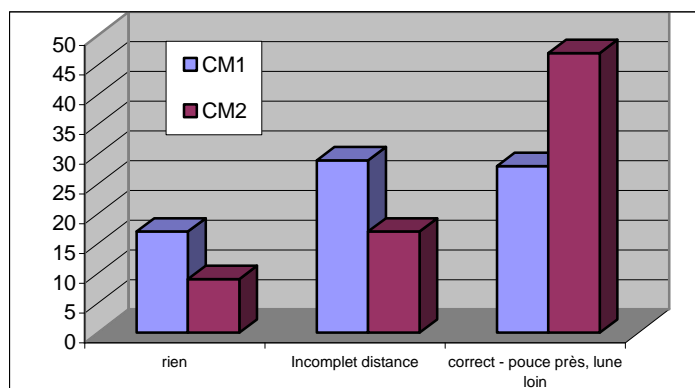


Figure 28, Réponse à la question 4.

Cette question, avec celle sur les éclipses, est celle qui a eu le maximum de réponses, en effet, seuls 26 élèves n'ont rien répondu, tous les autres ont essayé de formuler des hypothèses. Parmi ces hypothèses, celle prenant en compte les distances de la Lune et du pouce est la plus employée, 75 élèves ont donné une réponse correcte et complète.

Par exemple :

« Comme on met le pouce près de l'œil et que la Lune est très très loin, cela fait un effet. Alors le pouce cache la Lune » (Charlotte, CM2)

On retrouve aussi dans les réponses des élèves, des problèmes déjà mis en évidence par des travaux sur le concept d'angle et la hauteur du Soleil (Merle, 2003). On trouve en effet une confusion entre hauteur et distance de l'astre :

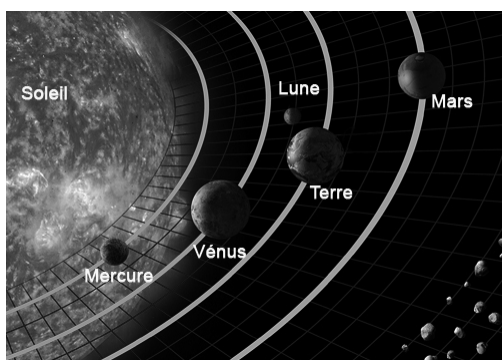
« Le pouce cache la Lune parce que comme la Lune elle est haute et le pouce bas, le pouce cache la Lune » (Nicolas, CM1)

Les réponses incomplètes sont imprécises sur les distances entre l'observateur, le pouce et la Lune, il y a parfois confusion entre les tailles relatives et l'obstruction du champ visuel par le pouce.

« Comme la Lune est loin, nous les terriens on la voit toute petite » (Natanael, CM2)

« C'est parce que comme notre pouce est devant nous on le voit beaucoup plus que la Lune qui est très loin. » (Sarah, CM2)

6.3.5. *Question 5 : Est-ce que tu penses que deux observateurs placés sur la Terre et sur Mars verraient la Lune de la même taille ? Tu peux t'aider d'un schéma.*



Cette question, utilisant la Lune de nouveau, est proche de la question précédente : la Lune possède deux diamètres apparents différents selon qu'on l'observe depuis la Terre ou depuis Mars. C'est ce diamètre apparent qu'il faudra, au même instant, imaginer et comparer.

Nous avons choisi de différencier les réponses « non » en trois catégories. Les élèves n'ont pas toujours justifié leurs réponses, et dans le cas où ils l'avaient fait, certains ont répondu l'inverse de ce qui était attendu.

La Lune a un diamètre apparent plus faible depuis Mars que depuis la Terre étant donné qu'elle en est plus éloignée. Certains élèves ont donc dit le contraire, ce que l'on a fait ressortir par la catégorie « non, inversé ».

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	oui
2	Non, sans explication
3	Non, inversé
4	Correcte, Non avec explication

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

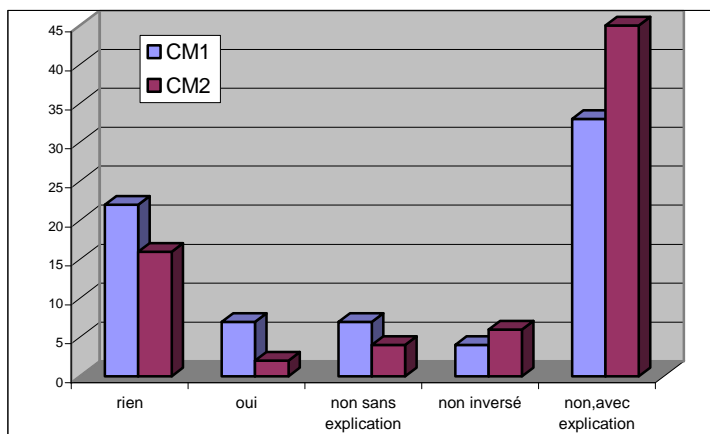


Figure 29, Réponse à la question 5.

On peut tout de suite noter la forte proportion de réponses justifiées et correctes, en effet, 78 élèves ont répondu « non » en le justifiant par rapport aux distances des planètes par rapport à notre petit satellite. Si l'on compare ces réponses à celles obtenues à la question 4, nous trouvons que 70% des élèves ayant répondu correctement à cette questions avaient précédemment répondu juste à la question sur le pouce.

Cette forte proportion indique que ces élèves associent le diamètre apparent aux distances des astres.

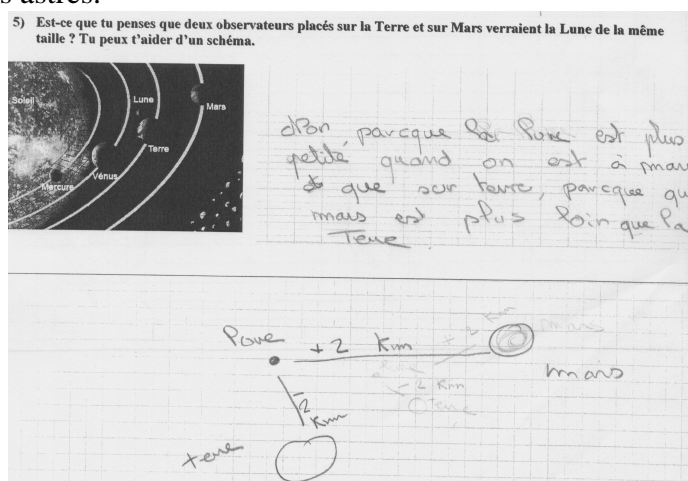


Figure 30, La Lune vue depuis la Terre et Mars.

Les résultats mis en évidence par une couleur bleue correspondent aux résultats sur l'ensemble des résultats.

	Question du pouce	Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	83	58(70%) (53%)
autres	0	15(18%) (21%)
Absence	0	10(12%) (26%)

Tableau 12 Réponses des élèves en fonction de leurs réponses à la question 4 (En bleu, résultats généraux)

	Eloignement Terre - Mars	Question du pouce
Réponses « correctes »	79	59(75%) (51%)
autres	0	15(19%) (31%)
Absence	0	5(6%) (18%)

Tableau 13 Réponses des élèves à la Q4 en fonction de leurs réponses à la question 5 (En bleu, résultats généraux)

Si on analyse les résultats obtenus à la question 4 (en prenant en compte uniquement les réponses des élèves ayant répondu correctement à la question 5), on remarque une nette augmentation des pourcentages ce qui confirme le fait que ces élèves semblent avoir compris l'influence de la distance sur le diamètre apparent.

D'après les tableaux 12 et 13, 60 élèves ont donné une réponse correcte aux deux questions ce qui peut laisser penser que ces élèves semblent réussir à appréhender au moins en partie cette notion.

Globalement, les réponses données montrent une bonne implication des élèves dans le questionnaire malgré le fait que les classes interrogées n'ont pas toutes eues d'enseignement sur les éclipses auparavant.

### 6.3.6. Les classes d'Agde, ayant travaillé sur les éclipses.

En se focalisant plus particulièrement sur les classes de CM1 et CM2 d'Agde qui ont observé l'éclipse et l'ont préparé avec des modélisations du système Terre-Lune-Soleil et des temps de schématisation, nous obtenons les résultats suivants, à comparer aux résultats généraux (en bleu) toutes classes confondues.

	Q1 :Eclipse	Q2 :Eclipse vue	Q3 :Eclipse annulaire	Q4 :Question du pouce	Q5 :Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	12 (60%) (62%)	12 (60%) (44%)	1 (5%) (6%)	11 (55%) (51%)	10 (50%) (53%)
autres	6 (30%) (21%)	1 (5%) (14%)	13 (65%) (60%)	5 (25%) (31%)	3 (15%) (21%)
Absence	2 (10%) (17%)	7 (35%) (41%)	6 (30%) (34%)	4 (20%) (18%)	7 (35%) (26%)

Tableau 14 Réponses des élèves de CM2 ayant travaillé sur les éclipses (en bleu, résultats généraux)

	Q1 :Eclipse	Q2 :Eclipse vue	Q3 :Eclipse annulaire	Q4 :Question du pouce	Q5 :Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	13 (65%) (62%)	14 (70%) (44%)	1 (5%) (6%)	8 (40%) (51%)	9 (45%) (53%)
autres	5(25%) (21%)	4 (20%) (14%)	13 (65%) (60%)	8 (40%) (31%)	5 (25%) (21%)
Absence	2 (10%) (17%)	2 (10%) (41%)	6 (30%) (34%)	4 (20%) (18%)	6 (30%) (26%)

Tableau 15 Réponses des élèves de CM1 ayant travaillé sur les éclipses (en bleu, résultats généraux)

On peut tout de suite observer que les résultats ne diffèrent pas beaucoup des résultats généraux.

En observant plus précisément les réponses données, nous nous sommes aperçu que la schématisation de profil était plus employée (25% au lieu de 10%) que celle de face. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les élèves aient déjà utilisé ce mode de représentation.

On peut aussi penser que cette plus grande maîtrise du phénomène des éclipses de la part des élèves fait que leur schématisation a pour rôle d'expliquer le phénomène et pas uniquement de le décrire.

## 6.4. Résultats du questionnaire lycée, classe de seconde

Notre étude dans les Lycées a porté sur une classe de 33 élèves qui avaient auparavant étudié le chapitre relatif au diamètre apparent.

### 6.4.1. Question 1 : *Qu'est-ce que le diamètre apparent d'un objet ou d'un astre ?*

Cette question a pour objectif de savoir si les élèves connaissent le terme de « diamètre apparent ». Un autre objectif de cette question est de savoir si les élèves associent le diamètre apparent à une longueur, comme le laisserait penser le mot « diamètre » ou s'ils l'interprètent bien comme un angle.

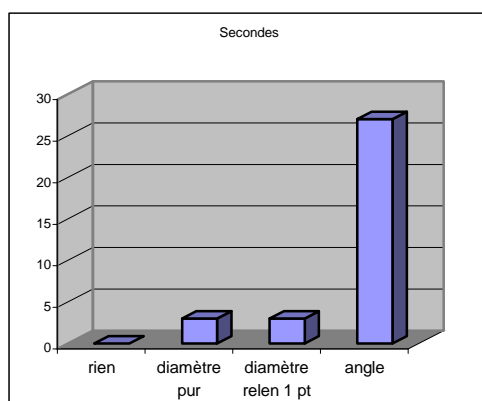
Cette question n'a pas été posée aux élèves de cycle 3 étant donné que le terme de « diamètre apparent » n'est pas abordé en classe.

Les trois catégories employées ici ont été définies comme tel : certains élèves associent directement le diamètre apparent au diamètre réel de l'astre en question (« diamètre pur ») alors que d'autres font ressortir la notion d'éloignement et de distance par rapport à ce diamètre (« diamètre relié en un point »). Enfin les réponses correctes sont classées dans la catégorie « angle ».

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Diamètre pur
2	Diamètre relié en 1 point
3	Angle

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :



**Figure 31, Réponse à la question 1.**

Sur les 33 élèves de seconde interrogés, 27 définissent correctement le diamètre apparent comme un angle, 3 seulement comme un diamètre et 3 comme un diamètre relié à un point, ce point semblant être l'observateur. On peut donc voir que pour cette classe de seconde le vocabulaire a été introduit.

### 6.4.2. Question 2 : De quoi dépend ce diamètre apparent ?

Les réponses attendues dans cette question, sont la distance entre l'observateur et l'objet ainsi que sa taille réelle.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Autre
2	Distance
3	Distance+taille
5	taille

Nous avons pu rencontrer des réponses incomplètes, en effet les élèves ont relié un seul paramètre au diamètre apparent comme la simplement la distance ou la taille de l'astre.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

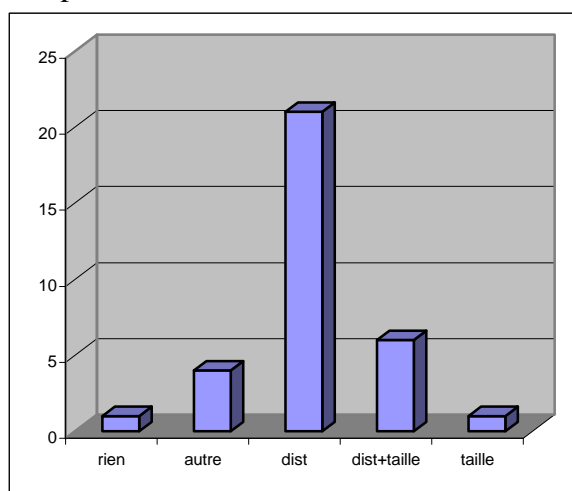


Figure 32, Réponse à la question 2.

Les élèves de seconde, pour la réponse à cette question, privilégient majoritairement la distance de l'objet sans associer sa taille réelle. En effet, 21 élèves font dépendre le diamètre apparent de la distance contre 6 seulement des deux paramètres.

On peut penser que le paramètre de distance marque davantage les élèves étant donné que cela est différent de la définition classique des angles. En effet, comme il a pu être précisé dans l'analyse a priori, l'enseignement sur les angles depuis le cycle 3 précise que ce concept ne dépend pas de la longueur des côtés, or ici, c'est justement parce que la distance entre l'observateur et l'objet varie que le diamètre apparent varie.

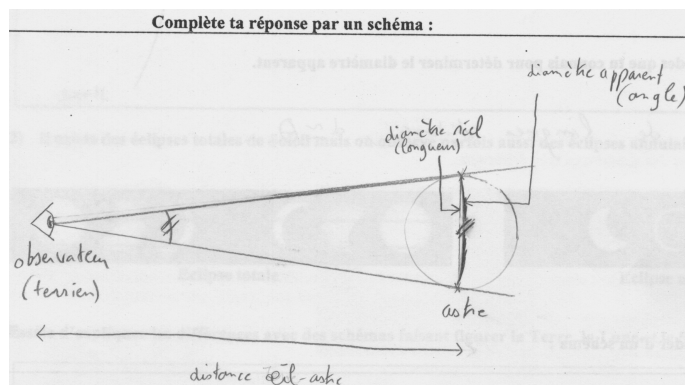


Figure 33, Réponse complète, définition du diamètre apparent.



Nous pouvons aussi penser que les élèves considèrent la taille de l'objet comme une constante et que seule la distance variable peut expliquer une variation de diamètre angulaire.

#### 6.4.3. Question 3 : Quel est l'unité du diamètre apparent ?

Il s'agissait de voir si il existait une confusion entre un angle et une longueur.

Nous attendions comme réponse, soit une unité d'angle (radian, degré) soit une unité de longueur (m, km).

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Longueur
2	Angle en degrés ou radian

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

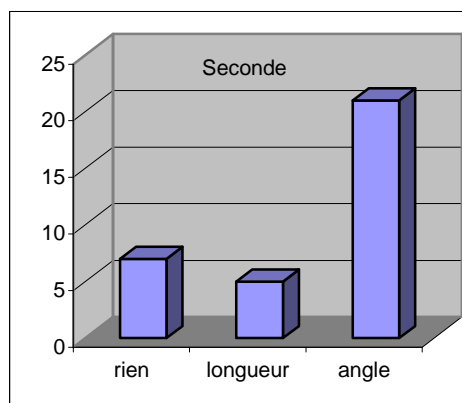


Figure 34, Réponse à la question 3.

Une majorité d'élèves (21/33) prend bien en compte une unité d'angle pour mesurer le diamètre apparent.

On notera néanmoins que 5 élèves attribuent comme unité à cet angle une distance en mètres ou kilomètres. Il est probable qu'ils aient associé cette mesure à celle du diamètre réel de l'astre (Figure 35).

En croisant les résultats obtenus aux questions 1 et 3, nous obtenons les résultats suivants :

Réponse à la Q1	Réponse à la Q3	Nombre de réponses
Longueur	km	1
Longueur	Degré ou radian	2
Angle	Degré ou radian	19
Angle	km	4
rien	-	7

On peut remarquer grâce à ce tableau, malgré le pourcentage important de réponses correctes, que les confusions sont multiples. En effet, les diamètres apparents, considérés par les élèves comme des angles peuvent être mesurés en km (4 élèves) alors que pour 2 élèves il est défini comme une longueur mais est en degrés.

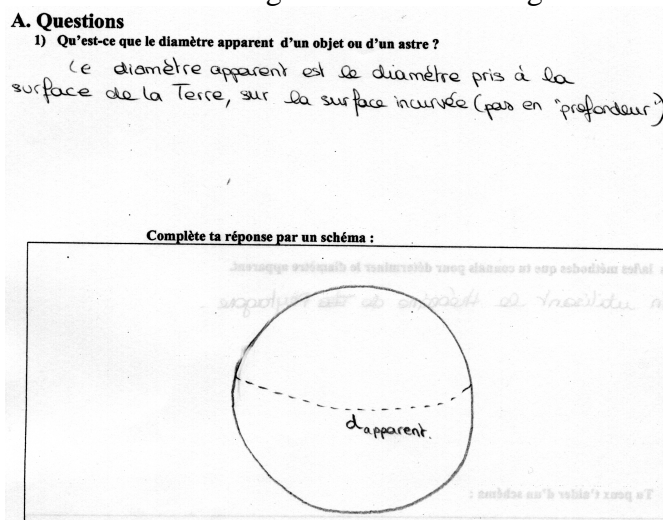


Figure 35, Confusion sur la notion de diamètre apparent.

Même si les effectifs sont réduits, on peut noter une confusion de la part de certains élèves sur la nature du diamètre apparent. Ce diamètre n'est pas exactement une longueur, mais il est lié à la taille de l'astre. Et si il est considéré comme un angle, il dépend de la distance de l'objet mesuré. Ces deux sources de confusions sont soulignées par les résultats à ces 2 questions.

#### 6.4.4. Question 4 : Pour expliquer quels phénomènes avons-nous besoin du diamètre apparent?

Au regard de l'actualité astronomique de cette année, on pouvait s'attendre à avoir le phénomène des éclipses. Cependant avec le contenu des documents d'application, nous aurions pu trouver des exemples liés avec les perspectives.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

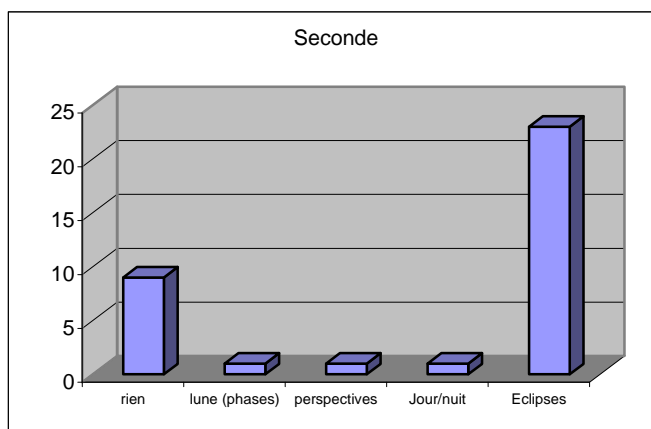
0	rien
1	Lune (phases)
2	Perspectives
3	Jour/nuit
4	Eclipses

Nous avons choisi de différencier les réponses en 5 catégories. Pour les élèves, le diamètre apparent est un outil pour comprendre les phénomènes astronomiques comme les éclipses, le jour et la nuit ou les phases de la Lune. Nous retrouvons aussi l'utilisation de la « technique du peintre » avec les perspectives et les distances apparentes.

Ce dernier point est sans doute en lien avec les activités présentes dans les documents d'application des programmes (Fiche 3 p86). Cette fiche explique que les peintres, afin de réaliser un dessin et garder les bonnes proportions des objets représentés, utilisent leur pouce. Lorsqu'ils tendent le bras, ils voient leur pouce suivant un certain diamètre

apparent. En superposant leur pouce aux différents objets qu'ils veulent représenter, ils ont les proportions relatives des objets entre eux.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :



**Figure 36, Réponse à la question 4.**

Une majorité d'élèves (23), ne citent que le phénomène d'éclipse. On peut penser que seule l'application liée aux éclipses a été traitée en classe. Cette réponse unique est sans doute à analyser avec de plus grands effectifs, les autres classes ayant peut-être vu d'autres applications, dont peut-être celle liée aux perspectives que l'on trouve dans les documents d'application des programmes.

Il n'est pas inutile de préciser ici que la notion de diamètre apparent n'est pas une notion incontournable du programme de seconde et que les multiples exemples donnés dans les documents d'aide ne sont pas systématiquement utilisés.

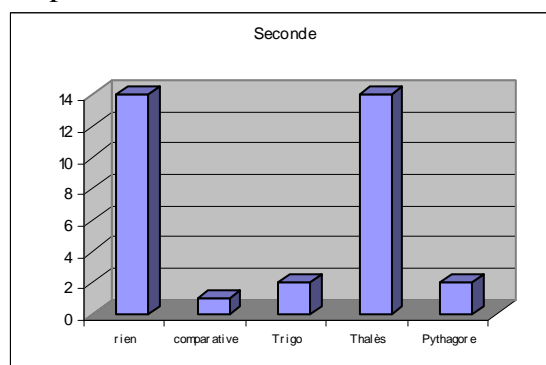
#### 6.4.5. Question 5 : Décris la/les méthodes que tu connais pour déterminer le diamètre apparent.

Le cours de seconde en sciences physiques sur ce chapitre mentionne le théorème de Thalès, les méthodes comparatives ou la trigonométrie.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Comparative
2	Trigo
3	Thalès
4	Pythagore

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :



**Figure 37, Réponse à la question 5.**

Cette question, plus complexe, nécessite d'avoir déjà manipulé une de ces méthodes, on remarquera que celle la plus citée est celle de Thalès (14). Nous pouvons donc penser que cette méthode a été travaillée en classe.

Les méthodes comparatives ou la trigonométrie sont ici anecdotiques.

#### 6.4.6. Question 6 : À l'aide d'un schéma avec la Lune, le Soleil et la Terre explique les éclipses de Soleil.

Pour déterminer si les élèves étaient capables de mobiliser le concept de diamètre apparent pour expliquer la différence entre une éclipse solaire totale et une éclipse annulaire, nous avons besoin de savoir s'ils étaient capables d'expliquer le phénomène des éclipses.

Pour cela, nous avons classé les réponses dans différentes catégories, prenant en compte la position des astres et leur alignement ainsi que le tracé ou non du chemin optique.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Faux (ordre différent)
2	Faux (position des astres, alignement)
3	Correct, absence de chemin optique
4	Complet

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

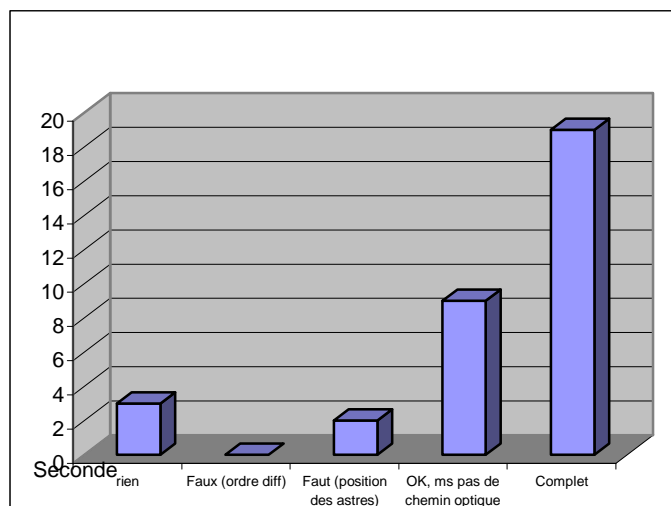


Figure 38, Réponse à la question 6.

Parmi les réponses obtenues ; il a été choisi de faire ressortir la présence ou non du chemin optique. On remarquera, avec un fort nombre de bonnes réponses (28) et un faible taux d'abstentions, que la connaissance des éclipses n'est pas un obstacle à la compréhension du mécanisme des éclipses annulaires pour cette classe. Par la suite, nous n'analyserons que les réponses des élèves qui savent ici expliquer les éclipses.

6.4.7. *Question 7 : Il existe des éclipses totales de Soleil mais on observe parfois aussi des éclipses annulaires : essaie d'expliquer les différences avec des schémas faisant figurer la Terre, la Lune et le Soleil.*

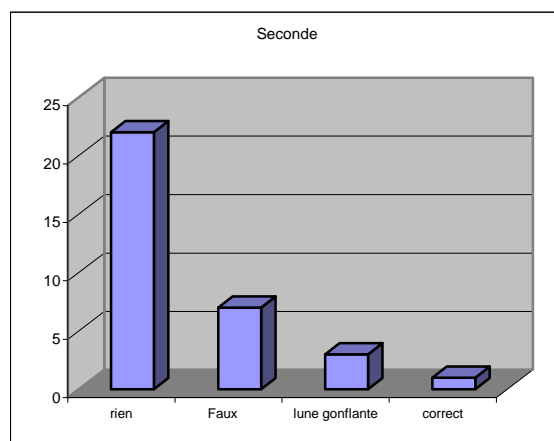
Identique dans sa construction à la question posée aux élèves de cycle 3, il est demandé d'expliquer la différence entre une éclipse annulaire et une éclipse totale. Dans le traitement des résultats, il a été choisi de ne pas reprendre les mêmes catégories que celles utilisées pour analyser les questionnaires des élèves de cycle 3. Ce choix s'explique par des réponses différentes, mais aussi peut-être par une meilleure compréhension de la question car les demandes de précision n'ont pas été aussi importantes qu'en cycle 3. Nous pouvons rajouter aussi que les élèves n'ont pas effectué de simple description des images présentées comme on avait pu le rencontrer en CM1 et CM2.

Nous avons créé la catégorie « Lune gonflante » afin d'observer si cette idée était aussi utilisée en seconde.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	rien
1	Faux
2	Lune gonflante
3	correct

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :



**Figure 39, Réponse à la question 7.**

Le taux de réponses est ici assez faible (11), et laisse présager, comme dans les classes précédentes, que la question a posé des problèmes. Ces problèmes peuvent être de plusieurs ordres. D'une part, le concept d'éclipse annulaire peut être difficile à cerner même si celui d'éclipse totale ne le semble pas. D'autre part, la question, dans la forme, peut être difficile à comprendre, comme on a pu le mettre en évidence avec les classes de CM.

Une autre difficulté qui avait été mise en évidence en cycle 3 est le choix des photographies illustratives qui ne sont peut-être pas suffisamment adaptées à la question. Cependant, les élèves n'ont pas effectué de description chronologique comme nous avons pu le remarquer avec les classes de CM1 et CM2. Cela dit, les élèves ayant répondu et expliqué le phénomène « correctement », l'ont fait avec précision.

Malgré le fait que les élèves de seconde aient travaillé sur le diamètre apparent et malgré le fait que les élèves de cycles 3 aient manipulé des modèles (boules) pour comprendre les éclipses, les élèves ne mobilisent pas le concept de diamètre apparent.

6.4.8. *Question 8: Dans le film appollo 13, Tom Hanks cache la Lune avec son pouce en rêvant d'y aller, il est bien connu qu'un pouce est bien plus petit que la Lune, explique comment il fait.*

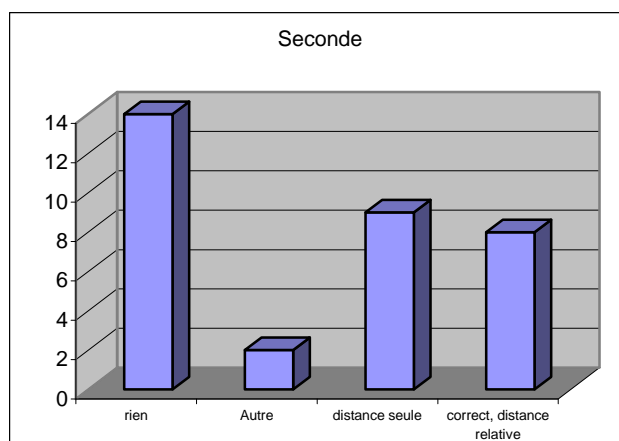
La méthode comparative est ici employée où la taille du pouce est comparée à celle de la Lune. Cette question met en évidence que le diamètre apparent d'un objet dépend de la distance à l'observateur. La Lune étant lointaine, elle paraît plus petite que le pouce qui est près de l'œil.

Les réponses obtenues mettent en évidence la distance et la taille de l'objet, ou seulement la distance par rapport à l'observateur.

Les réponses ont été catégorisées ainsi :

0	Rien
1	Autre
2	Distance seule
3	Correct, distance relative

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :



**Figure 40, Réponse à la question 8.**

Les réponses obtenues, malgré un taux d'abstention élevé dû aux conditions de passation, montrent l'utilisation de la distance de la Lune et du pouce pour la moitié de la classe (15 élèves).

Comme nous avons pu le voir avec la question 2, les élèves considèrent essentiellement la distance comme paramètre influent et éclipsent la taille réelle de l'objet en question. Ces résultats sont à mettre en parallèle avec ceux obtenus en cycle 3 où l'on retrouve cette proportion de réponses.

Ce résultat intéressant est à approfondir afin de chercher à savoir si cette occultation du diamètre réel des objets considérés est un réel oubli de la part des élèves où si celui-ci n'est seulement qu'un paramètre constant et implicite pour eux, dont l'influence n'est pas prise en compte comparé aux distances.

## 7

## 7. Conclusions et ouvertures

Cette étude menée sur les classes de cycle 3 et de Lycée nous a permis de dégager des éléments intéressants qui demandent à être approfondis.

D'une part, les résultats obtenus nous ont montré qu'il existait de réelles difficultés liées au concept « diamètre apparent », peut-être dû au fait d'un double obstacle didactique.

Ce double obstacle pourrait provenir du terme « diamètre », habituellement défini comme étant une longueur et de la définition de l'angle qui s'affranchit de la longueur des côtés et donc de la distance à l'observateur.

Les résultats obtenus auprès des élèves de seconde montrent qu'il existe bien une confusion entre la définition du diamètre apparent et son unité. Même s'ils le définissent comme un angle, certains élèves lui attribuent une unité de distance.

Afin de contourner cette difficulté il pourrait être intéressant de tester l'emploi d'autres termes déjà employés en Astronomie comme « l'angle apparent » ou le « diamètre angulaire » (Acker et Jaschek, 1981) et de voir s'ils évitent ces difficultés.

D'autre part, nous nous sommes rendus compte, dans la compréhension des éclipses annulaires que le diamètre apparent n'était pas utilisé par les élèves de cycle 2 et de seconde et que cette catégorie d'éclipse n'était pas bien comprise de la part des élèves.

Une poursuite de ce travail pourrait être de tester des séquences d'apprentissage afin ensuite d'étudier la capacité des élèves à utiliser le diamètre apparent comme un outil. Cependant, ces séquences seraient à construire avec discernement étant donné que des mimes ou des séquences avec des boules n'ont pas eu beaucoup d'impact sur les réponses. En effet, un travail préalable sur les phases de la Lune permettrait de s'affranchir de la confusion entre un croissant de Lune et la partie non masquée du Soleil pendant l'éclipse.

Il serait d'ailleurs intéressant de voir si un travail poussé sur les diamètres apparents aiderait au travail sur les éclipses.

Différentes méthodes de détermination du diamètre apparent ont pu être évoquées plus haut (2.3) et sont reprises ici sous forme d'un tableau de synthèse (Tableau 16).

Méthode	Astre			Classe		
	Lune	Planète	Soleil	C3	C	L
comparative : avec instrument						
comparative : avec décimètre gradué						
technique de la pièce						
déplacement apparent						
projective : sténopé						
projective : lunette						

**Tableau 16** Tableau de synthèse sur les méthodes (C3 : cycle 3, C : collège, L : Lycée)

(Les zones en grisé correspondent aux niveaux auxquels une méthode peut être utilisée.)

Dans les différentes méthodes évoquées, les méthodes comparatives sont accessibles à tous les niveaux. Cette méthode n'étant pas d'une grande précision, une mesure n'est pas réellement possible mais il peut être envisagé de recourir à une modélisation pour comprendre le phénomène. Une telle approche est décrite dans une activité à destination d'élèves de cinquième (Annexe 1).

Les méthodes de mesure comme celle du déplacement apparent seront plus adaptées aux classes de collège et lycée étant donné qu'elles mettent en œuvre des outils plus complexes que sont l'utilisation de la trigonométrie ou la vitesse et le déplacement angulaire.

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici que les manipulations liées avec l'observation solaire sont à faire avec la plus grande prudence et que les méthodes projectives seront toujours préférées même si les autres méthodes sont tout à fait utilisables à cette fin.

L'étude iconographique sommaire a permis de mettre en évidence des différences marquées entre les schémas. Ces différences seraient intéressantes à étudier dans l'histoire de l'éducation, afin de voir si une adaptation a été faite au cours du temps pour arriver à un modèle efficace. Deux grandes familles sont par exemple utilisées pour expliquer les éclipses, une schématisation de face et de profil, ayant chacune leurs qualités et leurs défauts. Les enfants adoptent tour à tour l'une ou l'autre des familles avec des objectifs différents de description ou d'explication du phénomène.



## 8

## 8. Bibliographie

- Acker, A., & Jaschek, C. (1981). *Astronomie : Méthodes et calculs* (1 ed.). Paris: Masson.
- Arvieu, Y., Astolfi, J.-P., Cantor, M., Laugier, A., Pattyn, X., & Schneeberger, P. (1999). *Sciences et technologie, Cycle 3, Niveaux 2 et 3*. Paris: Nathan.
- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (2002). *La Didactique des sciences*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Bastien, R., Guichard, J., Ignace, P., Larcher, C., Malexis, F., Quere, Y., et al. (2002). *Sciences et technologie : Cycle des approfondissements (Cycle 3)*. Paris: Centre national de documentation pédagogique.
- Bazin, D., de France, S., Lagier, S., Pieraccini, P., & Taupenas, D. (2006). *Physique Chimie 5e*. Rosny-sous-Bois: Bréal.
- Beaulieu, C., Eskenazi, S., Leroux, S., & Azran-Daninos, R. (2006). *Physique Chimie 5e : Programme 2006*. Paris: Les Editions Didier.
- Beauvais, C., Finot, T., Gravrand, F., Juillet, S., Lambert, V., Puechberty-Leblanc, A., et al. (2006). *Physique Chimie 5e*. Paris: Magnard.
- Bourge, P. (2000). *A l'affût des étoiles : Manuel pratique de l'astronome amateur*. Paris : Dunod
- Bramand, P., Comte, M.-J., Farloubex, B., Faye, P., Garnier, P., Raynal, C., et al. (2006). *Physique Chimie 5e*. Paris: Hachette.
- Causeret, P. (2003). Une histoire de diamètres apparents. *Les Cahiers Clairaut, 104*, 30-32.
- Causeret, P. (2005). Des activités pour l'éclipse de Soleil du 3 octobre 2005. *Les Cahiers Clairaut, 110*, 22.
- Celnikier, L. W. (1996). Histoire de l'Astronomie occidentale. Paris : Tech.& Doc./Lavoisier
- Copernic, N. (1980). *Des révolutions des orbés célestes*. Paris: Diderot Arts et Sciences.
- Couderc, P., & Pecker, J.-C. (1982). *Histoire de l'astronomie classique*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Daujean, C., Farran, J.-M., Odabachian, J.-P., & Jourdan, J. (2006). *Physique-chimie 5e*. Paris: Hatier.

- Débarbat, S. (2005). *Guide de données astronomiques : Pour l'observation du ciel. Annuaire du Bureau des longitudes*. Paris : EDP Sciences
- Guillermier, P., & Koutchmy, S. (1998). *Eclipses totales, Histoire, Découvertes, Observations*. Paris: Masson
- Hébrard, J., Guichard, J., & Zana, B. (1999). *Sciences et technologie, cycle 3*. Paris: Hachette.
- Herrmann, J (1995). *Atlas de l'astronomie*. Le livre de poche
- Jourdan, J. (1999). *Physique-chimie, 4ème : Livre de l'élève*. Paris: Hatier.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (2003). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Lloyd, G. E. R. (1999). *Une histoire de la science grecque*. Paris: Seuil.
- Marical, R. (2003). Diamètre apparent du Soleil. *Les Cahiers Clairaut*, 103, 19-22.
- Martinez, P. (1987). *Astronomie, le guide de l'observateur (Tome 1)*. Toulouse: Société d'Astronomie Populaire.
- Martinez, P. (1987). *Astronomie, le guide de l'observateur (Tome 2)*. Toulouse: Société d'Astronomie Populaire.
- Merle, H., & Munier, V. (2003). Comment conceptualiser la hauteur du Soleil en tant qu'angle au cycle 3 ? *Aster*, 36, 39-68.
- Munier, V., & Gerber Nicolas (2005). Etude des trajectoires du Soleil en classe de quatrième : de l'observation à la modélisation du mouvement diurne de la Terre. *Le BUP*, 99, 83-97.
- Ministère de l'Education Nationale. (2001). Programmes des lycées physique-chimie classe de seconde. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche*, 2, 14-26.
- Ministère de l'Education Nationale. (2002). *Fiche connaissance n°20. Cycle 2 et 3*. Paris : Centre national de documentation pédagogique.
- Ministère de l'Education Nationale. (2002). *Fiche connaissance n°21. Cycle 2 et 3*. Paris : Centre national de documentation pédagogique.
- Ministère de l'Education Nationale. (2003). *Enseigner au collège : Physique - Chimie (Programmes et accompagnement)*. Paris: Centre national de documentation pédagogique.
- Ministère de l'Education Nationale. (2005). Programmes des collèges physique-chimie classe de cinquième. *Bulletin Officiel de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche*, 5, 42-50.

- Nussbaum, J. (1986). Students' perception of astronomical concepts. In J. J. Hunt (Ed.), *Proceedings of the GIREP Conference 1986 : COSMOS - an Educational Challenge* (pp. 87-97). Copenhagen, Denmark: European Space Agency.
- Plait, P. C. (2002). *Bad Astronomy: Misconceptions and Misuses Revealed, from Astrology to the Moon Landing "Hoax"*. New York: John Wiley & Sons.
- Ripert, J., Sert, J., Bardin, D., Bottinelli, L., Gerbald, M., Gouguenheim, L., et al. (1994). *Astrophysique : 18 fiches*. Paris: Belin.
- Rolando, J.-M., Simonin, G., Pommier, P., Nombrot, J., Laslaz, J.-F., & Combaluzier, S. (2003). *Sciences Cycle 3. 64 enquêtes pour comprendre le monde*. Paris: Magnard.
- Tavernier, R. (2006). *Les Guides du Maître du CP au CM2 : Tome 2*. Paris: Bordas.
- Verdet, J.-P. (1990). *Une histoire de l'astronomie*. Paris: Seuil.

## 9

**9. Table des figures**

Figure 1, Gravure du XVI <sup>e</sup> siècle montrant le cône d'ombre et les tailles relatives.....	2
Figure 2, Système géocentrique de Ptolémée.....	3
Figure 3, Système héliocentrique de Copernic.....	4
Figure 4, Observation de Vénus et de ses phases depuis la Terre.....	5
Figure 5, Le diamètre apparent.....	7
Figure 6, Différence éclipse totale, éclipse annulaire (IMCCE).....	7
Figure 7, Les différents types d'éclipse.....	8
Figure 8, Exemple d'extrait de manuel : Eclipse solaire, et Lune en croissant (Magnard, p146). ....	14
Figure 9, L'éclipse annulaire (Gulliver, p87).....	14
Figure 10, Exemple de Schématisation 3D, chapitre 9, ombre et pénombre (Nathan, p135).....	17
Figure 11, "Diamètre apparent" d'un arbre (Hâtier, p187).....	19
Figure 12, Synthèse sur le diamètre apparent.....	20
Figure 13, Eclipse solaire de profil avec chemin optique. ....	22
Figure 14, Modèle 3D du système Terre Lune Soleil (TLS).....	22
Figure 15, Eclipse vue de face, statique (IMCCE).....	23
Figure 16, Eclipse vue de face, dynamique.....	23
Figure 17, L'éclipse annulaire.....	24
Figure 18, Effet de "Lune gonflante" (IMCCE).....	24
Figure 19, Schémas d'éclipse solaire, de profil et de face. ....	29
Figure 20, Utilisation du croissant de Lune. ....	30
Figure 21, Réponse à la question 1.....	30
Figure 22, Schéma de transit planétaire (Sylvain, CM2). ....	32
Figure 23, Réponse à la question 2.....	32
Figure 24, Les éclipses annulaires.....	34
Figure 25, Réponse à la question 3.....	34
Figure 26, Effet de "Lune gonflante". ....	35
Figure 27, Effet simple d'éloignement. ....	36
Figure 28, Réponse à la question 4.....	36
Figure 29, Réponse à la question 5.....	38
Figure 30, La Lune vue depuis la Terre et Mars. ....	38
Figure 31, Réponse à la question 1.....	40
Figure 32, Réponse à la question 2.....	41
Figure 33, Réponse complète, définition du diamètre apparent.....	41
Figure 34, Réponse à la question 3.....	42
Figure 35, Confusion sur la notion de diamètre apparent. ....	43
Figure 36, Réponse à la question 4.....	44
Figure 37, Réponse à la question 5.....	44
Figure 38, Réponse à la question 6.....	45
Figure 39, Réponse à la question 7.....	46
Figure 40, Réponse à la question 8.....	47

# 10

## 10. Annexes

**11 Copie d'élève**

Lis cet énoncé puis rédige la solution en tenant compte des remarques du professeur.

*Il arrive qu'une éclipse de Soleil ne soit pas totale, elle peut être partielle ou annulaire. Dans ce dernier cas, la partie du Soleil qui reste visible a la forme d'un anneau.*

- 1) Explique ce qu'est une éclipse de Soleil.
- 2) Réalise un schéma montrant une éclipse de Soleil. Ajoute l'œil d'un observateur terrestre qui voit l'éclipse.
- 3) Explique comment une éclipse annulaire est possible.

1. Une éclipse de Soleil, c'est lorsque le Soleil passe derrière la Lune. *Quel astre est en mouvement ? Le soleil ou la Lune ?*

2.

*Il faut une légende !*

*⚠ L'observateur est terrestre*

*Les ombres propres ne sont pas représentées !*

3. Le Soleil est devenu plus gros car il est en ébullition. *Attention. « ébullition » est incorrect ici. Au lieu de la taille du Soleil, qu'est-ce qui peut changer ?*

**12 Fabrique une éclipse de Soleil**

Lors d'une éclipse totale de Soleil, la Lune cache exactement le Soleil. On dit que la Lune et le Soleil ont le même diamètre apparent : vu de la Terre, ces deux astres semblent avoir la même dimension. Comment l'expliquer ?

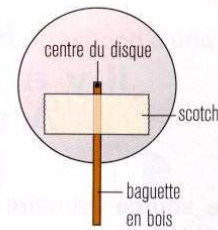
**Matériel**

Une feuille cartonnée (type bristol) • des ciseaux • deux baguettes en bois (du type piques à brochettes) • un compas • du scotch • une règle graduée ou un mètre ruban • de la pâte à modeler.

**Fabrique le Soleil et la Lune**

À l'aide du compas, trace un cercle de 8 cm de rayon sur une feuille cartonnée. Découpe ce disque.

Coupe une baguette en bois d'une longueur de 10 cm. Place-la contre le disque afin que l'une de ses extrémités soit au centre du disque. Fixe la baguette ainsi avec du scotch.



Forme une boule de pâte à modeler. Plante l'autre extrémité de la baguette dans la pâte à modeler qui servira ainsi de support.

Pour le disque lunaire, reprends les étapes ci-dessus, mais avec un cercle de 2 cm de rayon.

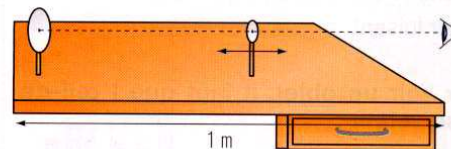
### Observe l'éclipse totale de Soleil

Sur une table, place le disque solaire à 1 m du bord.

Mets-toi contre le bord de la table et place ton œil à la hauteur du centre du disque solaire.

Sans bouger ton œil, déplace le disque lunaire devant toi et trouve la position qui permet au disque lunaire de cacher exactement le disque solaire.

Mesure alors la distance entre le disque lunaire et le bord de la table. Note cette valeur.



### Interprète tes observations

1. Calcule puis compare les aires des deux disques. On rappelle que l'aire d'un disque se calcule en fonction du nombre pi ( $\pi$ ) et de son rayon par :

$$\text{Aire} = \pi \times \text{Rayon}^2.$$

2. Compare aussi les distances entre le bord de la table et les disques.

3. Complète le texte suivant :

Le disque lunaire est ..... fois plus petit que le disque solaire mais il est aussi ..... fois plus près de l'observateur. Dans la réalité, la Lune est environ 400 fois plus petite que le Soleil, mais elle est aussi ..... fois plus près de la Terre. On dit que le diamètre apparent de la Lune est ..... au diamètre apparent du Soleil. C'est grâce à ce hasard qu'une ..... totale de Soleil est possible.

## Annexe 1 Activité sur le diamètre apparent en classe de cinquième

	Q1 :Eclipse	Q2 :Eclipse vue	Q3 :Eclipse annulaire	Q4 :Question du pouce	Q5 :Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	47 (72%) (62%)	65	4 (6%) (6%)	35 (54%) (51%)	36 (55%) (53%)
autres	14 (22%) (21%)	0	45 (69%) (60%)	21 (32%) (31%)	13 (20%) (21%)
Absence	4 (6%) (17%)	0	16 (25%) (34%)	9 (14%) (18%)	16 (25%) (26%)

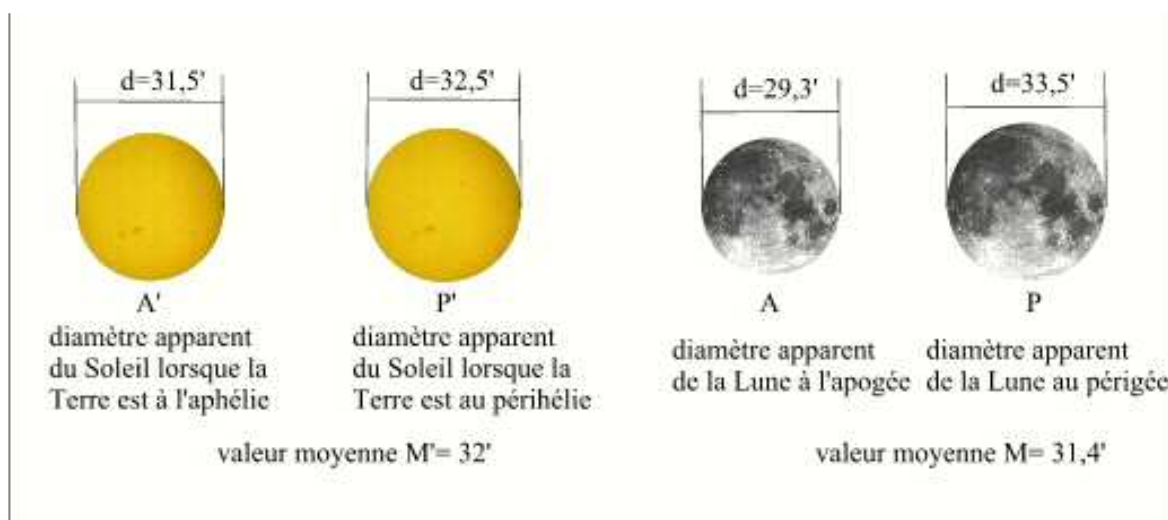
Annexe 1 Réponses des élèves ayant observé l'éclipse (en bleu, résultats généraux)

	Eclipse	Eclipse vue	Eclipse annulaire	Question du pouce	Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	91	47(52%) (44%)	6(7%) (6%)	59(65%) (51%)	59(65%) (53%)
autres	0	13(14%) (14%)	53(58%) (60%)	21(23%) (31%)	12(13%) (21%)
Absence	0	31(34%) (41%)	32(35%) (34%)	11(12%) (18%)	20(22%) (26%)

Annexe 2 Réponses des élèves ayant décrit les éclipses (en bleu, résultats généraux)

	Eclipse	Eclipse vue	Eclipse annulaire	Question du pouce	Eloignement Terre - Mars
Réponses « correctes »	91 (62%)	65 (44%)	9 (6%)	75 (51%)	78 (53%)
autres	31 (21%)	21 (14%)	88 (60%)	46 (31%)	31 (21%)
Absence	25 (17%)	61 (41%)	50 (34%)	26 (18%)	38 (26%)

Annexe 3 Réponses générales, élèves confondus



Annexe 4 Variations des diamètres apparents du Soleil et de la Lune (IMCCE)



























Ecole	classe	effectif
Pomérois 1	CM1	24
Pomérois 2	CM2	20
Palavas	CM1	11
Palavas	CM2	14
Agde b	CM1	19
Agde a	CM1	20
Agde c	CM2	20
Agde d	CM2	19
Arago	2nde	32

Annexe 8 Tableau des effectifs

			CM1		
Réponse	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
0	12	30	26	17	22
1	12	8	18	29	7
2	6	32	15	28	7
3	32	3	4	0	4
4	12	1	3	0	34
5	7	0	3	0	0
6			5		
Total	74	74	74	74	74

Annexe 9 Tableau de réponses, classe de CM1

			CM2		
Réponse	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
0	13	31	25	9	16
1	9	4	22	17	2
2	4	33	14	47	4
3	43	3	3	0	6
4	4	2	2	0	45
5	9	0	6	0	0
6			1		
Total	73	73	73	73	73

Annexe 10 Tableau de réponses, classe de CM2

Réponse	QA1	QA2	QA3	QA4	QA5
0	0	1	7	9	14
1	3	4	5	1	1
2	3	14	15	1	2
3	27	6	6	1	14
4		7		23	2
5		1			
Total	33	33	33	35	33

Annexe 11 Tableau de réponses, classe de seconde

QB1	QB2	QC1	QC2	QC3	QC4
3	22	14	24	21	33
0	7	2	0	1	0
2	3	9	2	1	0
9	1	8	6	3	0
19			1	0	0
				7	0
33	33	33	33	33	33

**Annexe 12 Tableau de réponses, classe de seconde**

Q1 Texte	0	rien
	1	FAUX
	2	incomplet
	3	correcte alignement
	4	correcte sans alignement
Q2	0	rien
	1	annexes
	2	eclipse
	3	occultation
	4	Autre
Q3	0	rien
	1	FAUX
	2	description pure
	3	Pb distance
	4	lune gonflante
	5	Correct
	6	biais déplacement
Q4	0	rien
	1	Incomplet distance
	2	correct - pouce près, lune loin
	3	correct - pouce plus près
Q5	0	rien
	1	oui
	2	non sans explication
	3	non inversé
	4	non,avec explication

**Annexe 13 Catégories, classe de cycle 3**

QA1	0	rien
	1	diamètre pur
	2	diamètre relen 1 pt
	3	angle
QA2	0	rien
	1	autre
	2	distance
	3	distance+taille
	4	position
	5	taille
QA3	0	rien
	1	longueur
	2	angle degré
	3	angle radian
QA4	0	rien
	1	lune (phases)
	2	perspectives
	3	Jour/nuit
	4	Eclipses
QA5	0	rien
	1	comparative
	2	Trigo
	3	Thalès
	4	Pythagore
QB1	0	rien
	1	Faux (ordre diff)
	2	Faut (position des astres)
	3	OK, ms pas de chemin optique
	4	Complet
QB2	0	rien
	1	faut
	2	lune gonflante
	3	correct
QC1	0	rien
	1	?
	2	distance seule
	3	correct, distance relative
QC2	0	rien
	1	FAUX
	2	nature de la planète
	3	correct
	4	Autre
QC3	0	rien
	1	mauvaise compréhension
	2	oui
	3	non sans explication
	4	non, inversé
	5	non complet

Annexe 14 Catégories, classe de seconde