

Premiers éléments d'une séquence en Astronomie

Découvrir les mouvements de la Terre

Dans les programmes du 26 novembre 2015, entrés en application à la rentrée 2016, le domaine du **cycle 2** intitulé **QUESTIONNER LE MONDE** fait déjà mention d'éléments relatifs à l'Astronomie enseignée à l'École :

Situer un lieu sur une carte ou un globe	
Identifier des représentations globales de la Terre et du monde. Situer les espaces étudiés sur une carte ou un globe. Repérer la position de sa région, de la France, de l'Europe et des autres continents. Savoir que la Terre fait partie d'un univers très vaste composé de différents types d'astres. » De l'espace connu à l'espace lointain : <ul style="list-style-type: none"> • les pays, les continents, les océans ; • la Terre et les astres (la Lune, le Soleil, ...). 	Cartes, cartes numériques, planisphères, globe comme instruments de visualisation de la planète pour repérer la présence des océans, des mers, des continents, de l'équateur et des pôles... Cartes du système solaire ; repérage de la position de la Terre par rapport au Soleil. Saisons, lunaisons, à l'aide de modèles réduits (boules éclairées).

On nous invite assez tôt à utiliser des "modèles réduits" afin de permettre aux élèves d'identifier des phénomènes astronomiques (les lunaisons).

Puis au **cycle 3**, dans le domaine **SCIENCES ET TECHNOLOGIE** notamment dans le sous-domaine concernant la Terre, il s'agit d'élucider les mouvements de notre planète.

Situer la Terre dans le système solaire et caractériser les conditions de la vie terrestre	
Situer la Terre dans le système solaire. Caractériser les conditions de vie sur Terre (température, présence d'eau liquide). » Le Soleil, les planètes. » Position de la Terre dans le système solaire. » Histoire de la Terre et développement de la vie. Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit, autour du Soleil et cycle des saisons). » Les mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil.	Travailler à partir de l'observation et de démarches scientifiques variées (modélisation, expérimentation...) Faire - quand c'est possible - quelques observations astronomiques directes (les constellations, éclipses, observation de Vénus et Jupiter...) Découvrir l'évolution des connaissances sur la Terre et les objets célestes depuis l'Antiquité (notamment sur la forme de la Terre et sa position dans l'univers) jusqu'à nos jours (cf. exploration spatiale du système solaire).

Ainsi, ***l'objectif général de la séquence*** sera : L'EdEC (L'Élève doit Être Capable) d'identifier les mécanismes astronomiques (simplifiés) régissant les relations entre le Soleil et la Terre ainsi que leurs conséquences (alternance jour/nuit, variation de la durée du jour avec les saisons...).

Dans l'exposé des 2 premières séances de la séquence abordées ici, nous suivons une démarche pédagogique adaptée à ce grand chapitre, démarche décrite sur la prochaine page, qui vient en complément d'une démarche scientifique classique.

Une évaluation diagnostique est pratiquée en tout début de séquence pour que l'enseignant se fasse une idée précise de ce qui est déjà acquis mais également pour permettre aux élèves de s'auto-évaluer à la fin de la séquence en comparant leurs réponses initiales aux connaissances qu'ils sont à même de véhiculer en fin de parcours.

I. Démarche pédagogique particulière.



Observer le réel ou partir d'un témoignage



Modéliser



Se questionner et envisager les solutions possibles



Chercher, se documenter et valider les résultats



Structurer et retourner au réel pour réinvestir les nouvelles notions

II. Evaluation diagnostique.

Les 6 premières questions sont consacrées aux élèves de CE2, sinon l'ensemble de l'évaluation est destinée aux élèves de CM1/CM2, s'ils ne l'ont jamais passée.

Évaluation diagnostique en astronomie
on répond en cochant les cases qui semblent justes sinon on coche la case «Je ne sais pas.»

1. La Terre a la forme d'une boule :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

2. La Terre bouge dans l'espace :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

3. La Terre a un pôle Nord et un pôle Sud :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

4. Le jour se lève toujours à la même heure

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

5. En hiver à Strasbourg,
la nuit peut durer 15 heures :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

6. En été à Strasbourg,
la nuit peut durer 8 heures :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

7. Pendant tout l'automne, la durée du jour :

- Augmente
- Reste la même
- Diminue
- Je ne sais pas

8. Pendant tout l'été, la durée du jour :

- Augmente
- Reste la même
- Diminue
- Je ne sais pas

9. Il fait chaud à Strasbourg en été, car la Terre :

- Est plus près du Soleil
- Est toujours à la même distance du Soleil
- Est chauffée plus longtemps dans la journée par le Soleil, alors qu'elle l'est moins en hiver
- Je ne sais pas

10. Si il fait nuit à Strasbourg, alors il peut faire encore jour à Brest :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

11. La Lune est toujours visible si il n'y a pas de nuages :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

12. La Lune montre toujours la même face car elle tourne sur elle-même :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

13. La Lune tourne autour de la Terre :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

14. Le Soleil est une étoile :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

15. Le diamètre du Soleil est environ 100 fois plus grand que celui de la Terre :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

16. Il y a 8 planètes majeures dans notre système solaire :

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

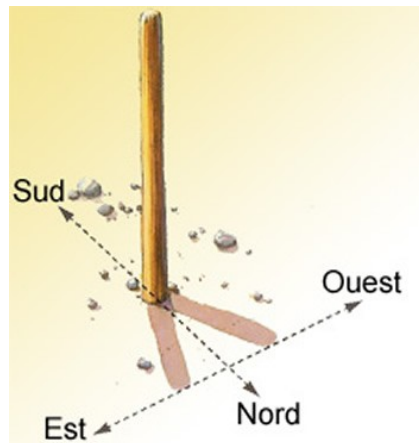
Date :

Classe :

École :

III. Séance 1 : le gnomon.

Le gnomon, dont l'obélisque est un dérivé de taille, est un dispositif utilisé dans l'antiquité pour donner une idée de l'heure solaire et indiquer en fin de journée la direction du Sud (et par conséquent du Nord qui est à l'opposé). C'est un bâton planté verticalement dans le sol, dont on trace l'ombre portée régulièrement afin d'obtenir une sorte de pointe de flèche indiquant le Sud.



Cette séance envisageable dès le CE2 fait si possible suite à une séquence sur l'ombre et la lumière.

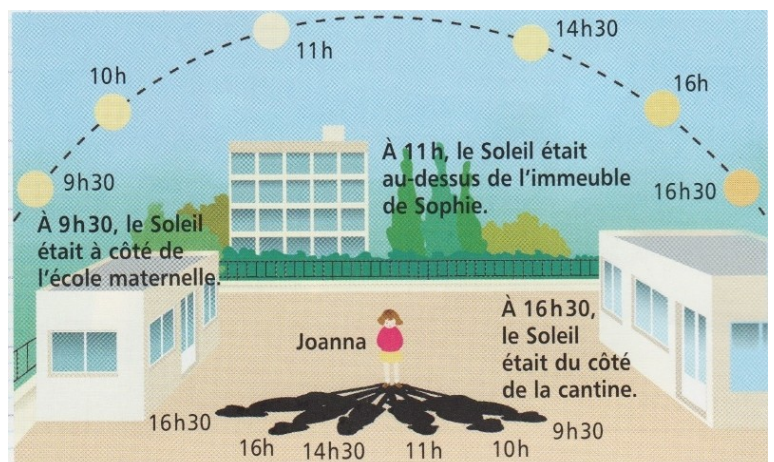
Objectif de la séance : par l'observation et la modélisation, l'EdEC d'envisager un mouvement possible de la Terre, responsable du déplacement des ombres des corps fixes. Il s'agit de répondre à une question du type : le Soleil est-il en mouvement ou la Terre est-elle en mouvement ?



Un élève est placé dans la cour, à un endroit ensoleillé toute la journée. L'empreinte de ses pieds est tracée à la craie par des camarades, celle-ci sera le point de référence de la position du « gnomon ». Dans un premier temps, on demande à l'élève de se déplacer de deux pas et aux autres de noter ce qui change dans ce cas.

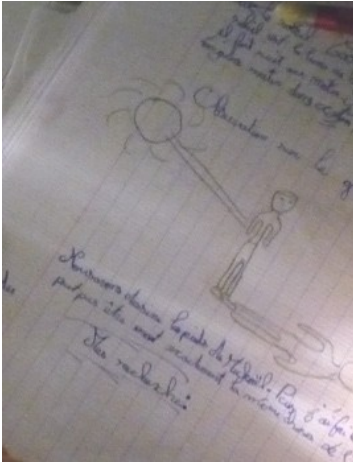
Ceci permet au groupe d'élèves d'identifier les composantes du paysage et de faire la relation entre la position du gnomon et de son ombre portée. Quand l'élève s'avance de deux pas, son ombre le suit, c'est « l'effet Peter Pan ».

Ainsi, l'ombre portée est bien le résultat de l'interposition d'un corps opaque entre une source lumineuse (le Soleil) et un support (le sol de la cour). À l'heure donnée, cela permet aux élèves de repérer la position du Soleil par rapport à l'ombre portée dont on effectue le tracé à la craie.



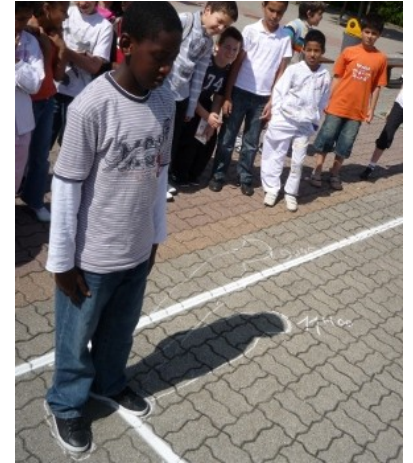
De retour en classe pour une durée de 55 minutes, les élèves font le schéma de cette

expérience commencée au cahier de sciences, en plaçant les éléments (Soleil, gnomon, sol) et émettent des hypothèses sur ce qu'ils vont découvrir une heure plus tard au moment de la seconde observation.

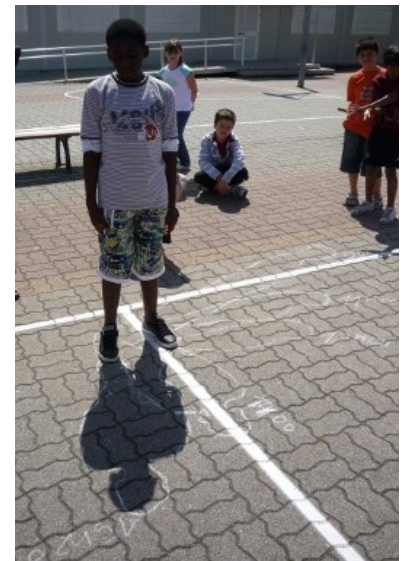
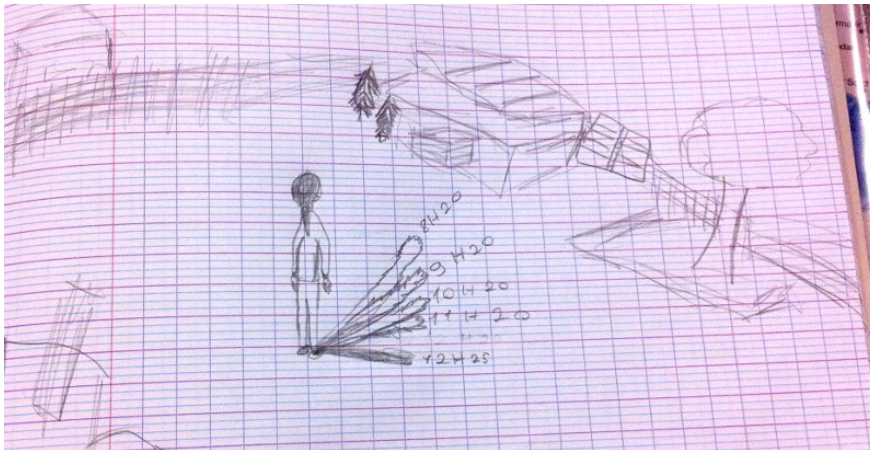


À leur grande surprise, l'ombre s'est décalée mais surtout a diminué en longueur. Ils notent que la position du Soleil est, à cet instant, différente de la précédente. Un nouveau tracé est effectué, l'heure du traçage est indiquée.

On essaiera de revenir observer toutes les heures afin d'avoir 5 à 6 relevés, en émettant à chaque fois des hypothèses sur les modifications attendues.



On obtient un tracé final en milieu d'après-midi. Celui-ci a la forme d'un éventail, V dont la pointe indique le Sud. Les élèves ont été surpris de constater qu'après la pause méridienne, les ombres se sont mises à croître après leur diminution systématique. Pour eux, cela dépend des positions successives du Soleil qu'ils ont repérées au fur et à mesure de l'expérience.



Dans la dernière heure de cours, on demande aux élèves de réaliser la maquette de l'expérience, modélisation faite grâce à une figurine, une assiette en carton et une lampe de poche. En binômes, les élèves font la reproduction de ce qu'ils ont vécu en faisant varier les positions de la lampe de poche afin de tracer les ombres portées de leur figurine sur le fond de l'assiette en carton ou sur la feuille de papier Bristol symbolisant la cour d'école.



Le plus souvent, ils s'affranchissent de cette tâche sans souci. Il est à remarquer qu'il arrive

toutefois que certains d'entre eux dessinent des ombres ayant toutes la même grandeur (alors que l'on avait bien émis les hypothèses au fur et à mesure de leur variation, de même qu'il n'est pas rare de constater que certains élèves, pas forcément repérés comme étant en difficulté (bien au contraire), réalisent une marguerite au lieu d'un éventail. Il s'agit probablement d'une sur-détermination de la consigne de la part de ces élèves qui ne veulent pas décevoir le maître.

Vient alors le moment de mettre les élèves en « situation problème ».

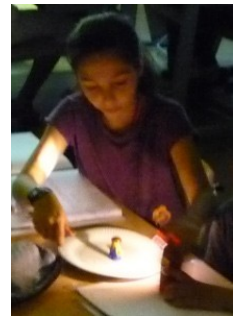
La « situation-problème » a été introduite dans le vocabulaire des pédagogues par Philippe Meirieu dans l'ouvrage « Apprendre... oui, mais comment », ESF éditeur, Paris, 1987, en annexe 1 intitulée « Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation-problème », page 164 à 177.

« Il est proposé aux élèves de poursuivre une tâche...

Cette tâche ne peut être menée à bien que si l'on surmonte un obstacle qui constitue le véritable objectif d'acquisition du formateur. Grâce à l'existence d'un système de contraintes, le sujet ne peut mener à bien le projet sans affronter l'obstacle. Grâce à l'existence d'un système de ressources, le sujet peut surmonter l'obstacle. »



Les élèves ont tracé les ombres portées de leur figurine en faisant bouger la lampe de poche. La tâche est maintenant de replacer les ombres de la figurine dans les tracés, mais il n'est plus possible de bouger la lampe !



C'est en effectuant un mouvement de l'assiette en trajectoire de croissant que les élèves réussissent à replacer les ombres dans les tracés, la lampe restant immobile. Une dualité d'explication vient alors à l'esprit :

Pour obtenir ce résultat, est-ce la lampe (le Soleil) qui bouge ou est-ce l'assiette (la Terre) qui bouge ?



VIKIDIA nous indique que : « Le **mouvement apparent du Soleil**, est le mouvement que semble faire en un jour le Soleil pour un observateur installé sur Terre...

Ce mouvement du Soleil est en fait une illusion. »

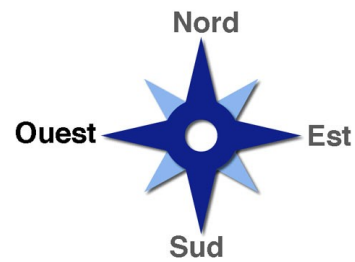
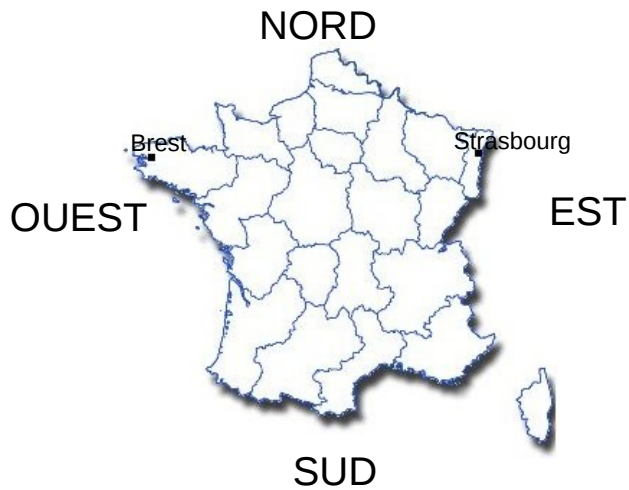


À partir de maintenant, on considère que ce n'est pas le Soleil qui bouge dans notre système (malgré l'habitude populaire de dire que le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest) mais que c'est la Terre. Dans la suite des modélisations, on s'en tiendra à garder la lampe de poche immobile pour symboliser le Soleil.

IV. Séance 2 : la problématique Alsace / Bretagne (Elsaß / Breizh).

Cette séance conduit les élèves à élucider un mouvement de la Terre responsable de l'alternance jour / nuit que nous connaissons.

Se basant sur un témoignage d'enfants habitant aux extrêmes géographiques Est et Ouest de notre pays, elle nécessite la maîtrise de prérequis que sont une représentation de la carte de France et la localisation des villes concernées ainsi que son orientation par les points cardinaux.



Objectif de la séance : par le témoignage et la modélisation, l'EdEC d'identifier et de décrire le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même.

Il s'agit de répondre à une question du type : le mouvement de la Terre étant admis, quel est ce mouvement ?



On raconte l'histoire d'Etienne qui habite à Strasbourg (Est) et qui téléphone à son cousin Olivier qui lui, habite à Brest (Ouest). Il lui téléphone à 22 heures un soir d'été. À Strasbourg il fait nuit, pourtant, à Brest son cousin joue à l'extérieur parce qu'il fait encore jour. Cette constatation les rendant perplexes, ils se téléphonent plusieurs fois les heures suivantes et comparent s'il fait nuit ou non dans les deux villes.

Ils obtiennent le tableau suivant faisant apparaître les états d'obscurité (N) et de clarté (J) aux différentes heures auxquelles ils se sont contactés.

ETE	Ouest	Est
22 h	J	N
0 h	N	N
5 h	N	J
12 h	J	J

Pour ces enfants, il faut comprendre pourquoi il fait jour à un endroit du pays quand un autre endroit est dans la nuit !



Les élèves ont à disposition des petits globes terrestres sur lesquels sont fixées de petites boussoles en papier leur permettant d'orienter les globes en plus des planisphères qui y sont peints. Aux positions Est et Ouest sont piquées des épingles à tête sphérique représentant

les enfants du témoignage. À l'aide d'une lampe de poche, ils doivent reproduire la séquence des états d'éclairement figurant dans le tableau.



Puisque le Soleil est immobile dans notre système, on ne bougera pas la lampe de poche. Il faut donc trouver quel est le mouvement de la Terre qui permet la séquence d'éclairement que les élèves ont vécue.

Après un certain nombre d'essais faisant « tomber » la planète en dehors du faisceau lumineux pour créer la nuit ou permettant à la main d'un être suprême d'éteindre la lampe (donc le Soleil) ou encore conférant à la Terre un mouvement de soupape en va-et-vient vertical agrémenté d'oscillations, une majorité d'élève aboutit au fait que la Terre tourne sur elle-même « comme ça » ou de « gauche à droite ».



Une formalisation sans équivoque permet alors de dire que :

La Terre tourne sur elle-même dans le sens inverse des aiguilles d'une montre vue du Nord.



Mais dans ce cas, pourquoi ne la sent-on pas bouger ? Cette question pose encore quelque problème à certains élèves qui ne demandent qu'à croire ce que la modélisation et la recherche documentaire ont apporté comme réponse.

Il est nécessaire alors de se demander dans quelles conditions ne sent-on pas les mouvements que nous subissons ?

Nous trouvons les réponses dans les mouvements à vitesse constante : en autocar à 100 km/h sur l'autoroute, en avion à 900 km/h au dessus des pays, en tram à 40 km/h lorsque celui-ci est lancé. En effet, la démonstration contraire nous montre que nous sentons les mouvements au démarrage ou au freinage, c'est à dire, lorsque l'on accélère ou lorsque l'on décélère.

Pour mémoire, un habitant de l'Équateur fait un tour de Terre en 24 heures, ce qui correspond à une circonférence parcourue, soit $6378 \times 2 \times 3,14 = 40\,054$ km en 24 heures. Sa vitesse périmétrique est donc de 464 m/s. Pour mémoire, selon le même calcul, en tenant compte du fait que Strasbourg se situe à 48° de latitude nord, un strasbourgeois se déplace à 310 m/s. Et pourtant nous ne nous sentons pas bouger car ce déplacement se fait à vitesse constante.



Les techniques spatiales actuelles nous permettent d'illustrer la situation de départ (et accessoirement offrent un point d'observation extérieur au « plancher des vaches » sur lequel nous vivons) mais permettent aussi de confirmer ce que nous avons trouvé.



On distingue bien sur ce cliché le terminateur qui est la ligne de démarcation entre le jour et la nuit.

V. Séance 3 : la problématique des esquimaux.

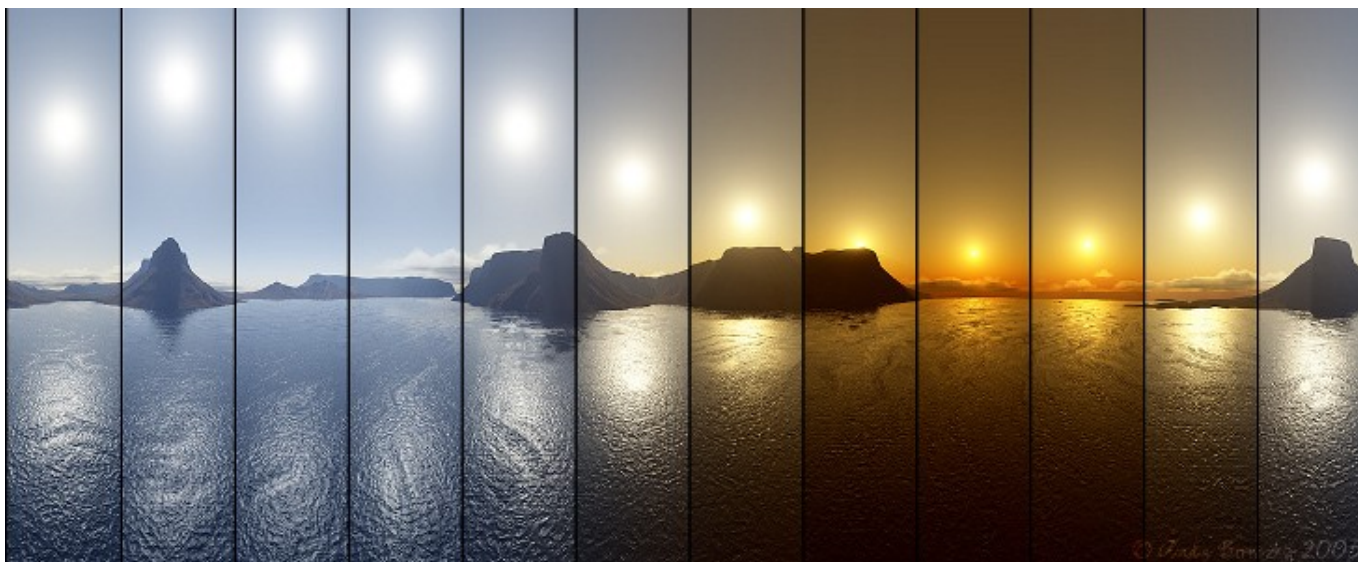
Cette séance étant l'initiale d'un long développement nous conduisant à élucider la durée du jour et sa variation au cours des saisons, certaines compétences requises concerneront essentiellement les élèves de CM. Nous considérons donc que la suite ne concerne pas les élèves de CE2.

Objectif de la séance 3 : par le témoignage et la modélisation, l'EdEC d'identifier l'obliquité nécessaire de l'axe de rotation de la Terre sur elle-même pour justifier le Soleil de minuit et les nuits permanentes aux pôles de la planète.

Il s'agit de répondre à une question du type : comment se fait-il qu'il fasse toujours jour au Pôle Nord en été et toujours nuit en hiver à ce même pôle sur la période journalière de 24 heures ?



Le témoignage de l'explorateur alsacien François Beiger en 2003 ou l'exploit accompli par Jean-Louis Etienne en 1989-1990 lors de la Transantarctica ou encore les récits de Jørn Riel dans lesquels des pêcheurs groenlandais « ... meublent la solitude de la nuit polaire en sirotant un épouvantable tord-boyaux... » amènent les élèves à résoudre le problème de l'éclairement de zones polaires ou subpolaires que l'on retrouve dans un tableau :



Nombre de mois	État
2 (~hiver)	Nuit
4 (~printemps)	Jour/Nuit
2 (~été)	Jour
4 (~automne)	Jour/Nuit

Observations en zone subpolaire



Village norvégien à 3 heures du matin

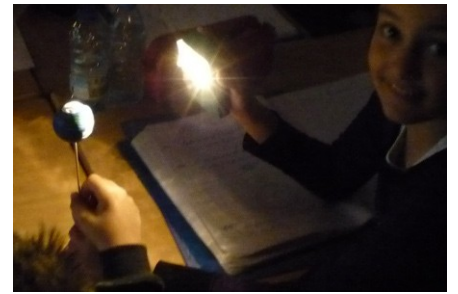


Reprenant les globes orientés et les lampes de poches, les élèves matérialisent la présence humaine en mettant une croix au stylo sur la banquise peinte sur leur modèle et cherchent un mouvement et/ou une position permettant d'avoir le Pôle Nord dans l'ombre en permanence tout en faisant tourner le globe sur lui-même.

Ils tentent ensuite de reproduire la séquence se trouvant dans le tableau.



C'est un passage important de la séquence car il va montrer la **limite de la modélisation utilisée jusqu'ici**. En effet, avec leur lampe de poche qui envoie un faisceau de lumière unidirectionnel, les élèves trouvent les positions de la Terre convenant aux saisons d'hiver et d'été. Certaines exclamations se font entendre comme : « mais oui, elle est penchée ! » et l'angle obtenu est imprécis.

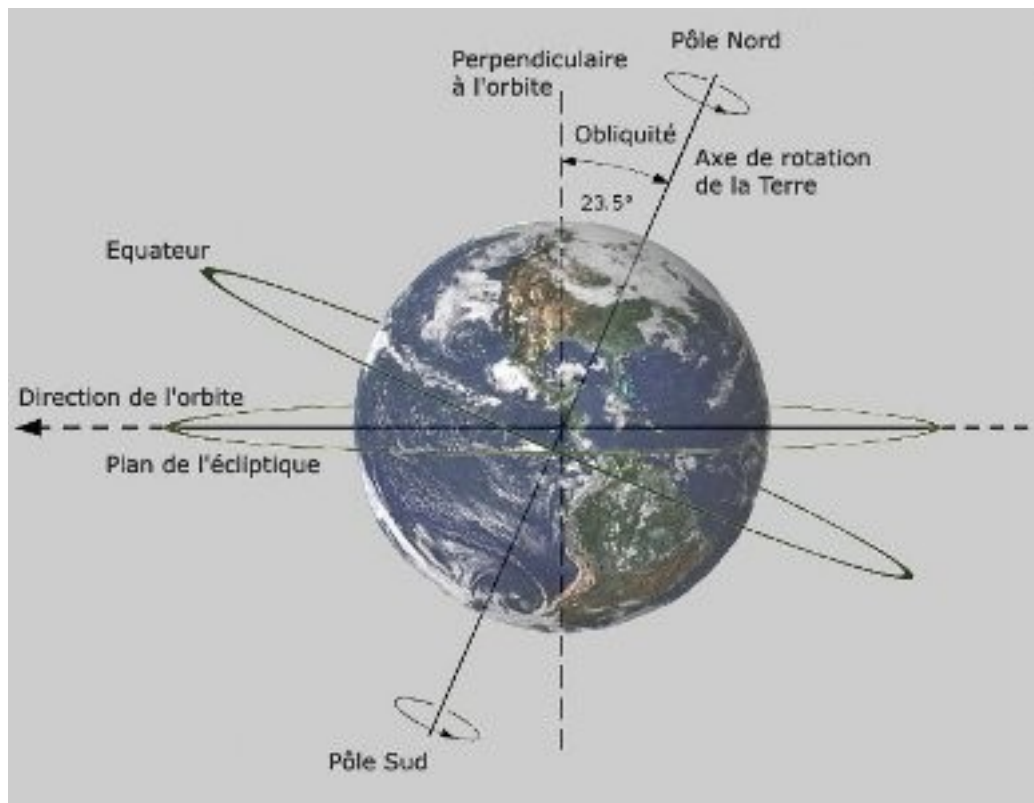


Mais pour obtenir un résultat d'alternance Jour / Nuit au printemps et à l'automne, les élèves sont obligés de faire se dandiner leur modèle afin de faire varier l'angle qu'il fait avec le faisceau fixe de lumière et obtenir ainsi la séquence du tableau.

Qu'à cela ne tienne, l'objectif de la séance est atteint, les élèves prennent conscience de la nécessité d'une obliquité de l'axe Nord-Sud (comme sur les globes scolaires visibles sur les armoires des salles classe).



Néanmoins, même si le groupe constate qu'il faudra changer de modélisation, à savoir, abandonner la lampe de poche pour une lampe s'apparentant davantage au Soleil en illuminant l'espace dans toutes les directions comme une lampe de chevet sans abat-jour, l'obliquité est décelée et doit être précisée.



Au final, les élèves entrevoient plus sereinement pourquoi les fabricants de globes terrestres s'efforcent à les faire inclinés alors qu'il serait tellement plus simple de les faire droits.



Pour le reste de l'élucidation des phénomènes et le passage à une modélisation plus adaptée, il faudra traiter davantage d'informations, notamment celles concernant notre implantation géographique qui, même si nous demeurons relativement au Nord, n'est pas celle des esquimaux.

VI. Séance 4 : la variation des durées des jours et des nuits pendant l'année sous notre latitude.

La séance précédente a mis l'accent sur la nécessité d'améliorer la modélisation en 3 dimensions pour parvenir à bien se représenter les phénomènes variables sur l'année.

Objectif de la séance 4 en CE2 : par l'exploitation de données journalières sur des horaires de lever et de coucher de Soleil sous notre latitude à 4 dates particulières de l'année, l'EdEC de calculer et de retrouver graphiquement 4 durées d'éclairage (jour/nuit) pour ces 4 moments.

Cette séance déroge un peu à l'application de la démarche spécifique que nous avons indiquée en début de cours puisqu'elle ne fait pas intervenir de modélisation. Il s'agit pratiquement d'une séance de mathématiques dans laquelle on représente des variations de durées.



On met à la disposition des élèves un tableau indiquant les horaires de lever et de coucher de Soleil aux 4 dates de changements de saisons sous notre latitude. Les élèves doivent calculer les durées de jour et les durées de nuit manquantes.

La « fiche élève » peut se présenter ainsi :

Astronomie : *Calculs des durées du jour et de la nuit à différentes saisons.*

Voici une activité qui permet de constater que la durée du jour ou de la nuit n'est pas toujours la même chez nous pendant l'année.

Consigne : Calcule les durées du jour et de la nuit aux dates proposées dans le tableau des levers et couchers de Soleil d'une ville française. Complète alors le tableau.

Dates	Heure de lever du Soleil	Heure de coucher du Soleil	Durée du jour	Durée de la nuit
21 décembre	8h00	16h00		
20 mars	6h00	18h00		
21 juin	5h00	21h00		
22 septembre	6h30	18h30		

Pour faire ce travail, tu peux te servir de la feuille-ardoise distribuée.

Il y a donc en tout 4 durées de jour et 4 durées de nuit à calculer.

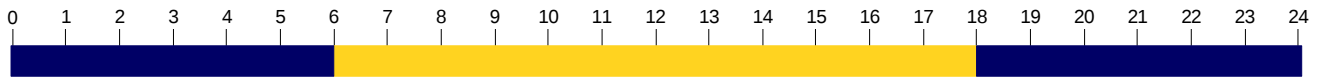
Nous sommes dans une activité de calcul horaire mobilisant chez les élèves la connaissance selon laquelle 1 journée dure 24 heures et 1 heure dure 60 minutes.

Il est alors intéressant de donner une chance de réussite à chacune et à chacun en fournissant aux élèves une feuille-ardoise (une grille-frise de calcul) leur permettant de trouver ce qu'ils cherchent ou simplement de vérifier qu'ils ne se sont pas trompés.

Établissement des durées de jour aux dates proposées



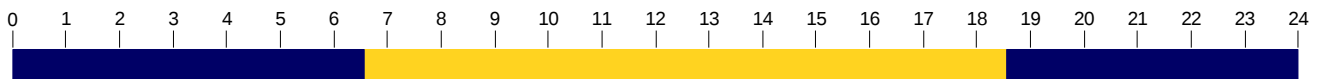
Date : 21 décembre Heure de lever : 8h Heure de coucher : 16h Durée du jour : nombre d'heures = 8



Date : 20 mars Heure de lever : 6h Heure de coucher : 18h Durée du jour : nombre d'heures = 12



Date : 21 juin Heure de lever : 5h Heure de coucher : 21h Durée du jour : nombre d'heures = 16



Date : 22 septembre Heure de lever : 6h30 Heure de coucher : 18h30 Durée du jour : nombre d'heures = 12

Avec cet outil, les élèves visualisent les durées en bandes colorées et ont une représentation linéaire des durées respectives de jour et de nuit et peuvent directement les confronter visuellement.

On ne peut que constater une augmentation de la durée du jour, du mois de décembre jusqu'au mois de juin, suivie d'une diminution allant du mois de juin au mois de décembre suivant.

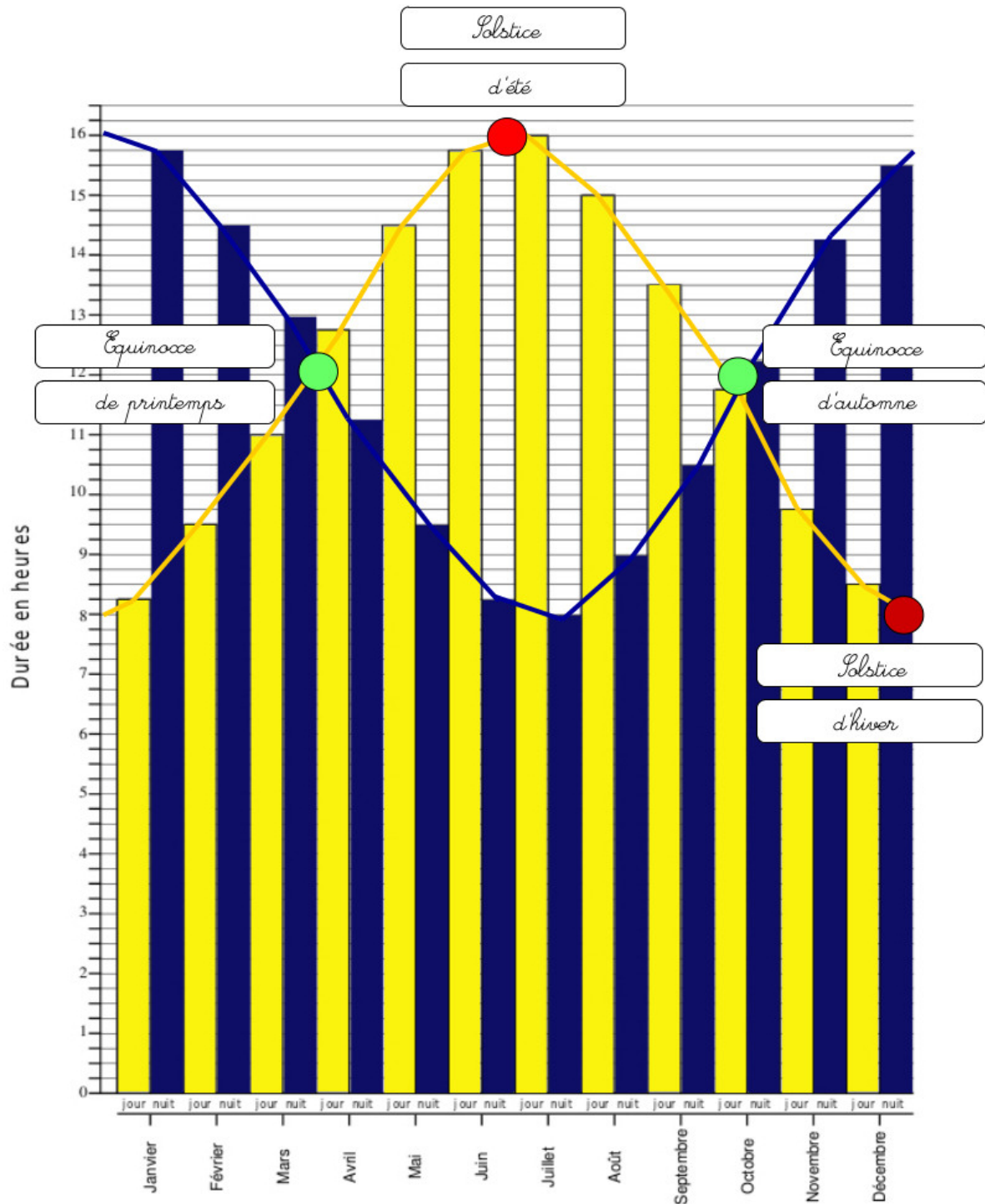


Tableau des valeurs servant de corrigé.

Dates	Heure de lever du Soleil	Heure de coucher du Soleil	Durée du jour	Durée de la nuit
21 décembre	8h00	16h00	8 heures	16 heures
20 mars	6h00	18h00	12 heures	12 heures
21 juin	5h00	21h00	16 heures	8 heures
22 septembre	6h30	18h30	12 heures	12 heures

Ces valeurs sont ensuite utilisées dans un histogramme des durées de jour et de nuit

Dans l'histogramme distribué, il est possible de relier globalement les sommets des bandes de chaque type de durées et d'obtenir alors les courbes approximatives des durées de jour et de nuit sur l'année.



De ces informations obtenues, trois sont à mettre en exergue :

Au début de l'été (21 juin), la durée du jour est de 16 heures sous notre latitude.

Au début de l'hiver (21 décembre), la durée du jour n'est que de 8 heures.

Au début du printemps (20 mars) et au début de l'automne (22 ou 23 septembre) la durée du jour est égale à celle de la nuit, donc 12 heures.

Nous avons donc dégagé par le témoignage d'observations d'éphémérides, les moments charnières que sont les solstices (été, hiver) et les équinoxes (printemps, automne).

Objectif de la séance en CM2 : par l'exploitation des données journalières des horaires de lever et de coucher de Soleil sous notre latitude, l'EdEC de calculer et de représenter graphiquement les durées d'éclairement et de nuit sur une année.

Cette séance déroge un peu à l'application de la démarche spécifique que nous avons indiquée en début de cours puisqu'elle ne fait pas intervenir de modélisation. Il s'agit pratiquement d'une séance de mathématiques.



On met à la disposition des élèves des documents indiquant les horaires de lever et de coucher de Soleil au premier de chaque mois sous notre latitude. Les élèves doivent calculer les durées de jour et les durées de nuit manquantes dans un deuxième tableau de collecte de celles-ci.

Date	Lever du soleil		Coucher du soleil	
	<i>h</i>	<i>min</i>	<i>h</i>	<i>min</i>
1er janvier	7	46	16	03
1er février	7	23	16	46
1er mars	6	35	17	32
1er avril	5	31	18	20
1er mai	4	32	19	04
1er juin	3	54	19	44
1er juillet	3	53	19	56
1er août	4	25	19	28
1er septembre	5	08	18	32
1er octobre	5	51	17	29
1er novembre	6	38	16	29
1er décembre	7	24	15	55
1 ^{er} janvier suivant	7	46	16	03

On constate que les horaires du mois de janvier sont identiques dans cet exemple.

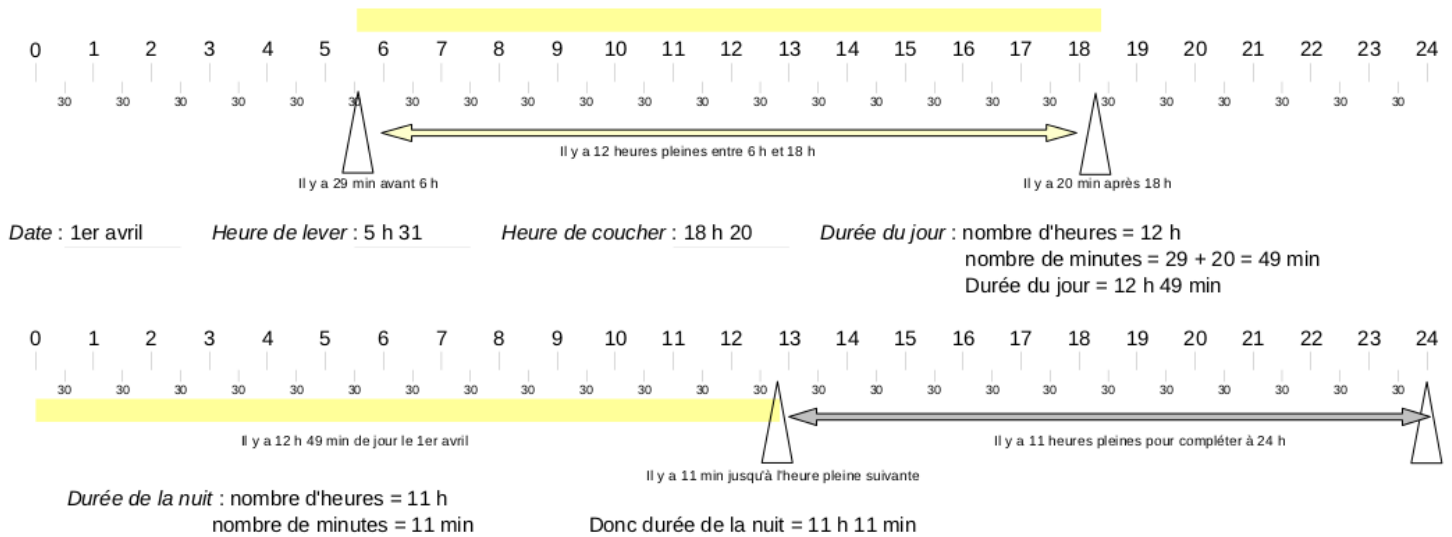
Date	Durée du jour		Durée de la nuit	
	<i>h</i>	<i>min</i>	<i>h</i>	<i>min</i>
1er janvier	8	17	15	43
1er février	9	23	14	37
1er mars	10	57	13	03
1er avril				
1er mai				
1er juin				
1er juillet	16	03	7	57
1er août	15	03	8	57
1er septembre	13	24	10	36
1er octobre	11	38	12	22
1er novembre	9	51	14	09
1er décembre				
1 ^{er} janvier suivant				

Il y a donc en tout 4 durées de jour et 4 durées de nuit à calculer.

Même en ayant abordé la base sexagésimale (base 60) avec les élèves de CM, certains ont encore du mal à poser des soustractions pour trouver les durées.

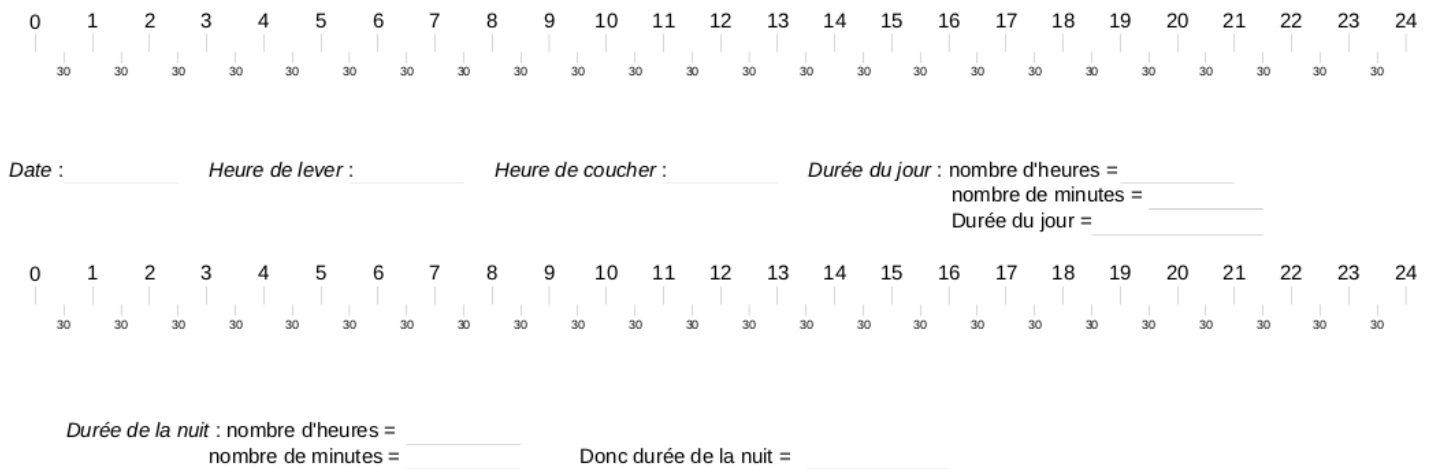
Il est alors intéressant de donner une chance de réussite à chacune et à chacun en fournissant aux élèves une grille-frise de calcul leur permettant de trouver ce qu'ils cherchent.

Grille de calcul des durées de jour et de nuit



Avec cet outil, les élèves visualisent les durées en bandes colorées et ont un exemple d'établissement du calcul dont ils ont besoin pour compléter le tableau des données.

Sur la même feuille, ils disposent d'une grille-frise vierge. En glissant cette feuille dans une pochette transparente et en inscrivant des valeurs directement sur le plastique à l'aide de feutres effaçables, les élèves ont donc une sorte d'ardoise spécifique au calcul des durées.



D'un point de vue pratique, n'oublions pas qu'il est préférable pour des élèves, devant la nouveauté, d'aborder les tâches en les confrontant à une seule difficulté à la fois. Ainsi, on calculera d'abord TOUTES les durées de jour que l'on vérifiera tous ensemble et seulement ensuite, on calculera toutes les durées de nuit. Cela permet aux élèves de s'acclimater à une méthode dans la première partie de la grille avant de passer à la seconde.

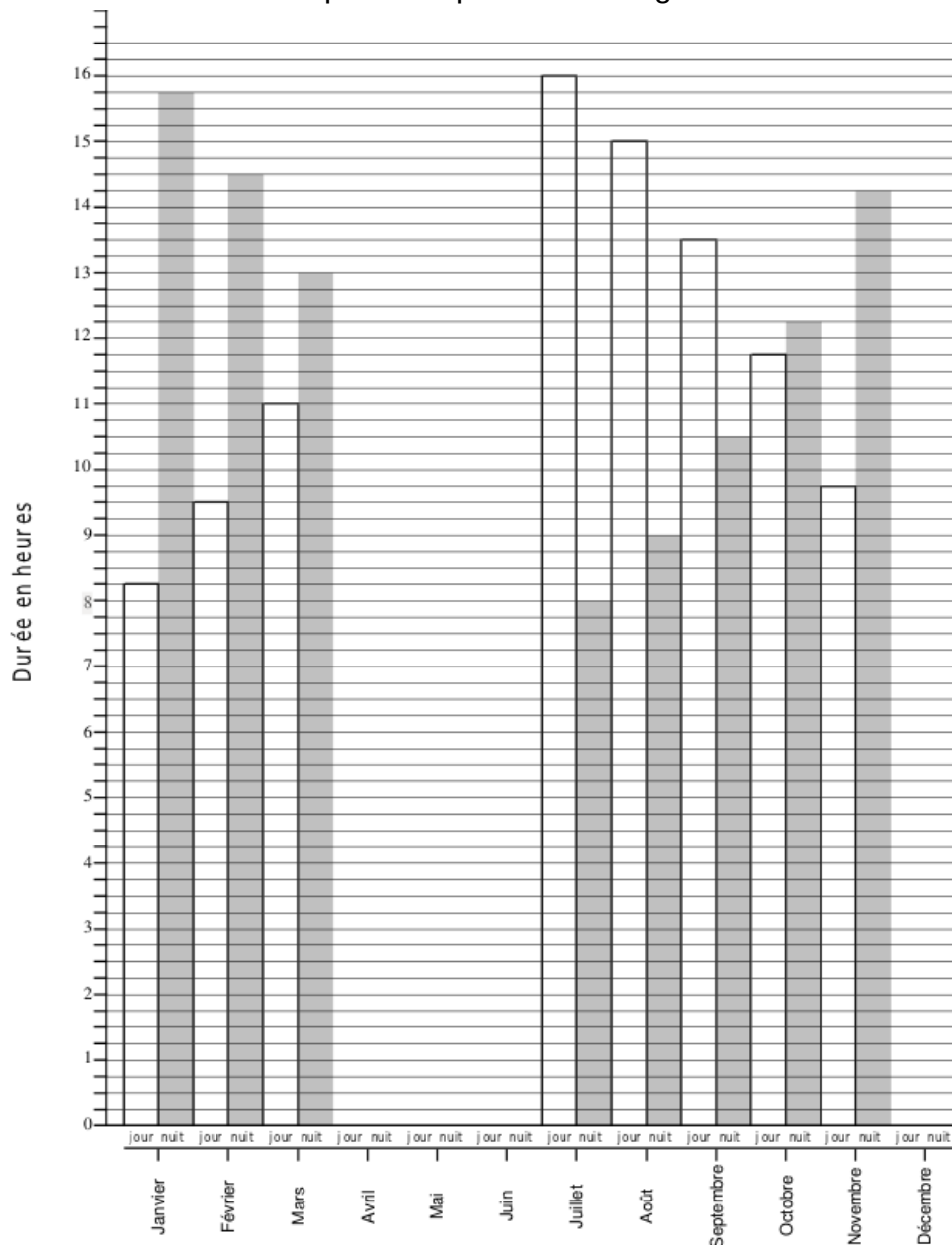
De toute façon, chaque élève sera destinataire du tableau des résultats attendus, ce qui lui permettra de passer à la représentation graphique avec un document « homogène ».



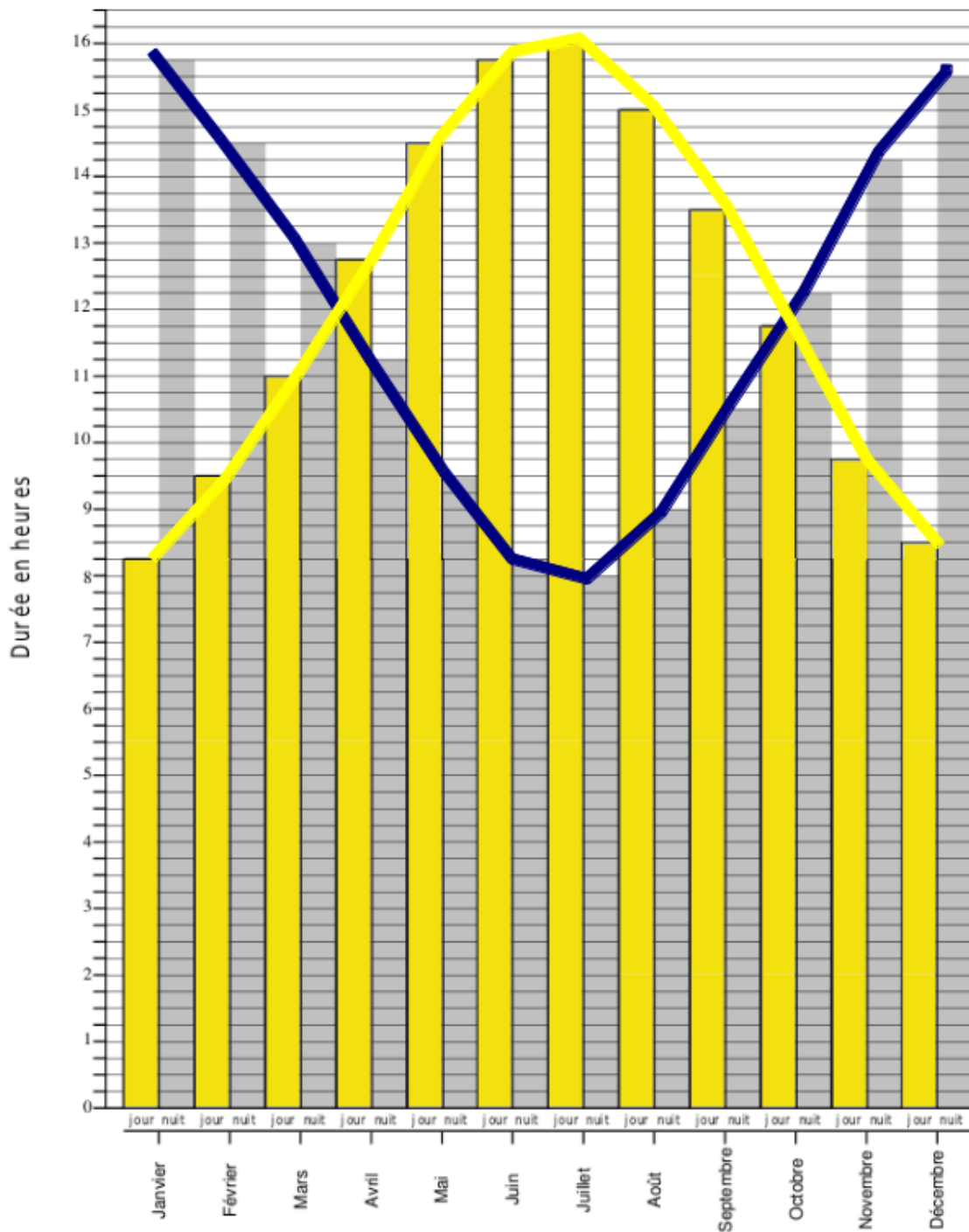
Date	Durée du jour		Durée de la nuit	
	<i>h</i>	<i>min</i>	<i>h</i>	<i>min</i>
1er janvier	8	17	15	43
1er février	9	23	14	37
1er mars	10	57	13	03
1er avril	12	49	11	11
1er mai	14	32	9	28
1er juin	15	50	8	10
1er juillet	16	03	7	57
1er août	15	03	8	57
1er septembre	13	24	10	36
1er octobre	11	38	12	22
1er novembre	9	51	14	09
1er décembre	8	31	15	29
1er janvier suivant	8	17	15	43

Tableau des valeurs servant de corrigé.

Ces valeurs sont ensuite utilisées pour compléter un histogramme des durées de jour et de nuit



Le plus difficile pour les élèves est de tracer des parallèles correctement pour compléter l'histogramme. On peut dans ce cas distribuer un histogramme déjà réalisé et y placer les 4 moments particuliers (comme en CE2).



L'aboutissement de ce travail conduit les élèves à un résultat identique dans lequel ils ont été davantage sollicités.

VII. Séance 5 : la révolution de la Terre autour du Soleil.

Cette séance consiste à compléter la séance n° 3 au sortir de laquelle nous étions un peu sur notre faim. En effet, les élèves savent que l'axe Nord-Sud de la Terre est penché, ce qui permet les situations exceptionnelles (pour nous) du Soleil de minuit et des nuits permanentes dans les régions polaires. Ils véhiculent également les informations issues de la séance précédente. Nous allons donc essayer d'aboutir, à l'issue de cette séance, aux positions caractéristiques de la Terre aux 4 saisons.

Objectif de la séance 5 : par l'exploitation des données et la modélisation, l'EdEC d'identifier les positions caractéristiques de la Terre aux 4 saisons par rapport au Soleil et la course qui les unit.



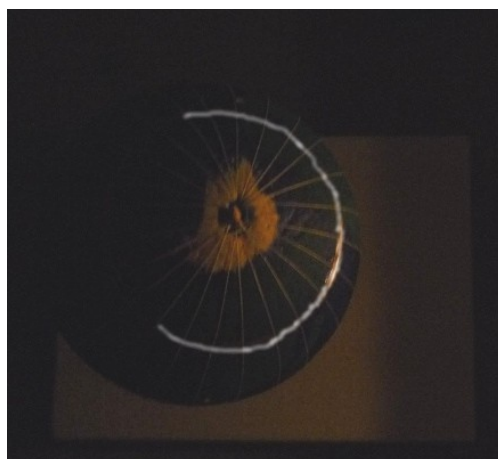
Les élèves connaissent les durées de jour et de nuit sous notre latitude et sont informés que l'obliquité de la Terre est toujours la même quelle que soit sa position dans l'espace, à savoir que **l'axe Nord-Sud pointe toujours vers l'Étoile Polaire (Alpha Ursae Minoris)** qui est un repère invariable dans la voûte céleste Nord vu de la Terre.



Les élèves disposent de maquettes de globes terrestres sur lesquels figurent 24 fuseaux de mêmes dimensions représentant les 24 heures d'une rotation journalière. Ces globes sont sur des socles leur conférant l'obliquité de l'axe Nord-Sud et sont pourvus également d'une inscription circulaire identifiant la latitude de 48° à laquelle nous demeurons.

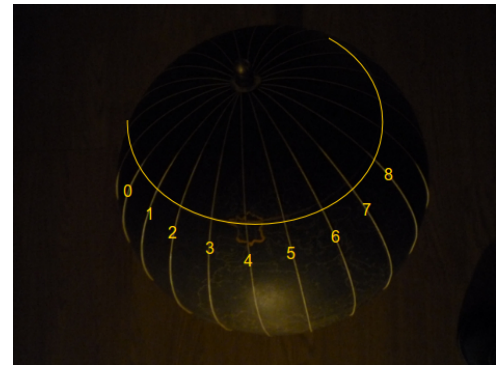
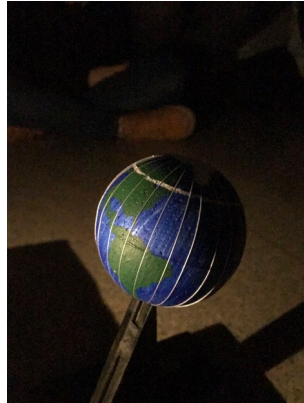


Des photophores sont sur des socles de telle sorte que les centres du globe et de la source de lumière soient alignés. On demande aux élèves, répartis en 4 groupes, de retrouver dans l'obscurité la position de la Terre en été, de telle sorte que 16 fuseaux puissent être visibles à leur intersection avec le cercle de la latitude de 48° . Mais ces manipulations en 4 groupes peuvent également se faire avec la classe entière. On utilise alors un grand globe à 24 fuseaux en relief.

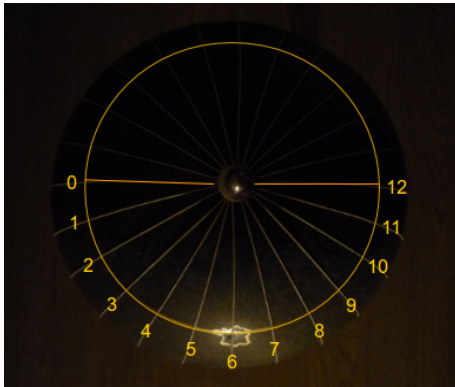


Les élèves concluent qu'en été, le Pôle Nord est penché vers le Soleil, ce qui permet l'illumination de 16 fuseaux sous notre latitude.

On demande ensuite aux élèves de trouver la position de la Terre en Hiver, sans que l'obliquité de la Terre ne change, l'axe Nord-Sud pointant toujours dans la même direction (l'Étoile Polaire), de telle sorte que seuls 8 fuseaux soient visibles à l'intersection de la bague peinte, représentant notre latitude de 48°.



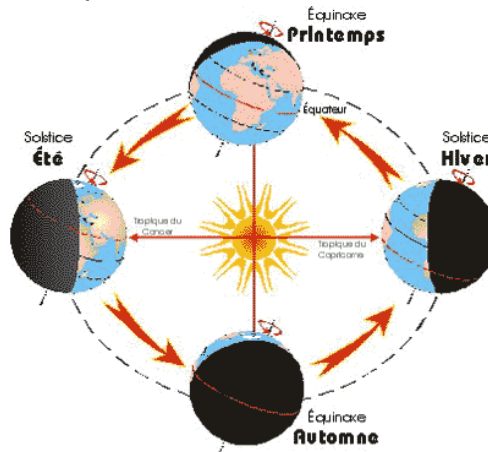
Pour obtenir un comptage de 8 fuseaux correspondant à la position « hiver », sans changer la direction de l'axe Nord-Sud, les élèves sont obligés de faire glisser sur la table ou sur le sol (endroit de l'expérimentation), le socle du globe, pour le placer à l'opposé de la position « été ». Ils en concluent qu'en hiver le Pôle Nord est « fuyant » le Soleil, ce qui permet l'illumination de 8 fuseaux seulement sous notre latitude.

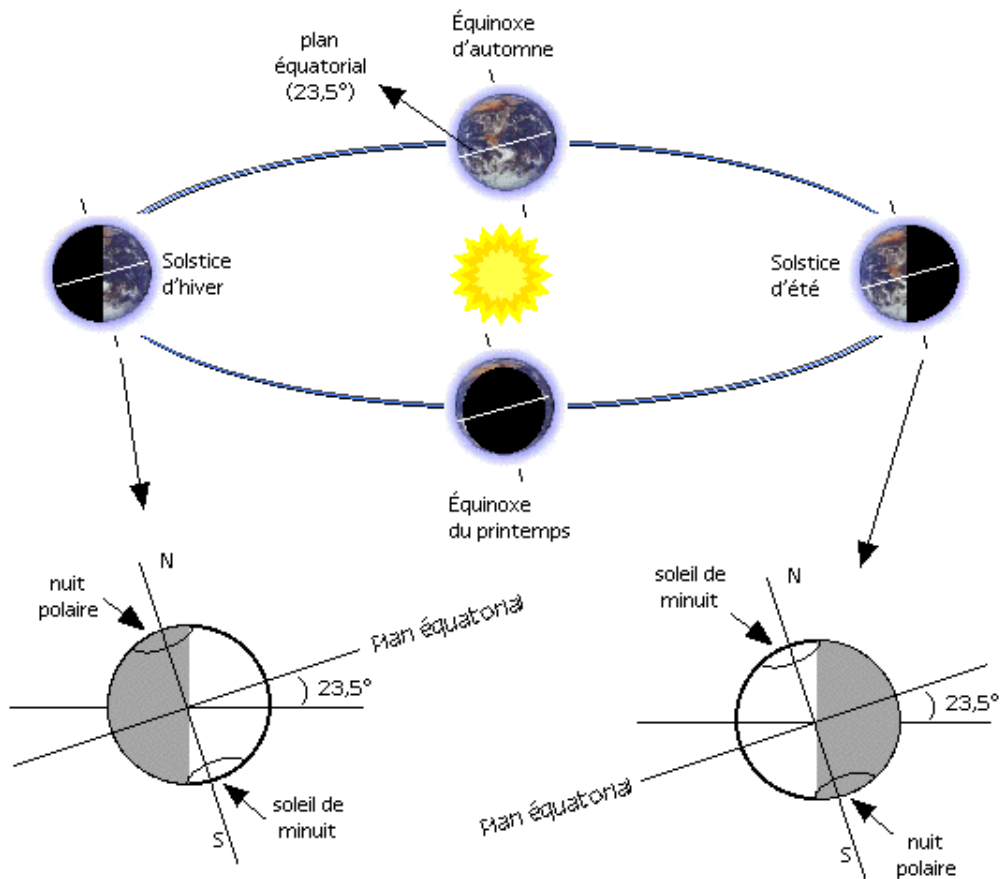


Pour passer d'une position à l'autre, les élèves font passer les globes de côté par rapport au photophore et constatent que dans cette position, ils peuvent compter 12 fuseaux illuminés pour l'ensemble du globe, ce sont les positions universelles des équinoxes.



Des recherches documentaires peuvent être faites pour trouver des illustrations de ces positions. On essaie d'être vigilant par rapport aux choix de validation de ces documents, sachant que des représentations erronées peuvent rapidement s'installer dans les esprits suite à des illustrations outrancières.

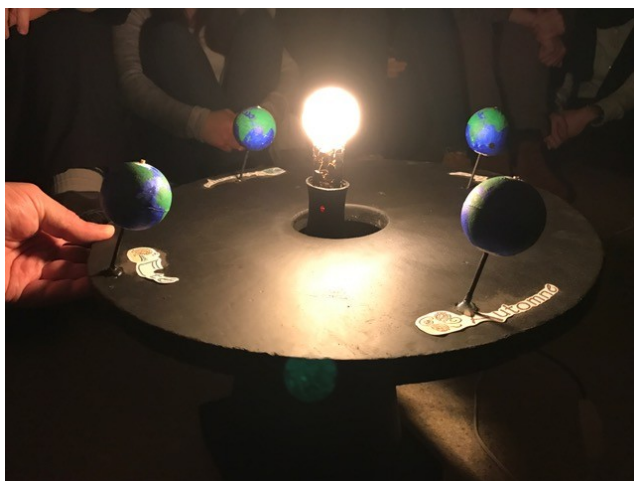




La Terre, en plus de tourner en rotation sur elle-même en 24 heures, tourne en **révolution autour du Soleil en 1 an, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, vue du Nord.**

Le trajet qu'elle emprunte pour ce faire s'appelle l'**orbite terrestre**, elle est sur un plan que l'on nomme le **plan de l'écliptique** qui passe par le centre du Soleil et le centre de la Terre.

Enfin, il est souhaitable de visualiser ces positions et cette orbite en 3 dimensions et de permettre aux élèves d'être alors des « voyageurs de l'espace » sans quitter la classe.



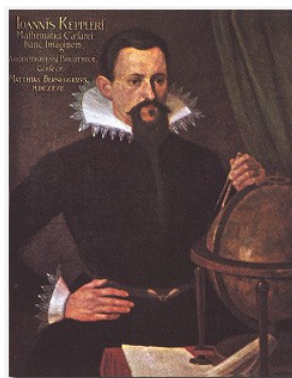
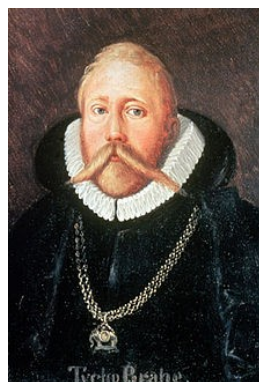
VIII. Séance 6 : La forme de l'orbite terrestre.

Nous avons vu, lors de la séance précédente, que les positions de la Terre par rapport au Soleil, aux quatre saisons, (positions géométriques dans l'espace du fait de l'obliquité de la Terre par rapport au plan de l'écliptique), déterminaient les durées de jours et de nuits.

Il nous reste à visualiser la forme de l'orbite terrestre pour identifier le mouvement de la Terre lors du passage d'une saison à l'autre. La plupart des personnes parlent d'une orbite elliptique, de forme ovale (un peu comme un ballon de rugby), et lui attribuent des vertus sur la froideur de l'hiver ou la chaleur estivale. Nous nous devons d'apporter aux élèves une représentation conforme aux connaissances académiques sur ce phénomène.

Objectif de la séance 6 : par l'exploitation des données héritées de la recherche en astrophysique, par l'aptitude à tracer une ellipse au compas et en respectant la mise à l'échelle de dimensions, l'EdEC de tracer une orbite terrestre proportionnée.

Il s'agit de répondre à une question du type : l'orbite terrestre ressemble-t-elle plus à un cercle mal tracé ou à une « patate » ?



Tycho Brahé (1546-1601), astrophysicien danois, a fait pendant 30 ans des relevés quotidiens des positions des astres dans la voûte céleste.

Johannes Kepler (1571-1630), astrophysicien allemand, a travaillé avec Tycho Brahe de 1600 à 1601 et a hérité de ses tables de données à la mort de celui-ci.

Ainsi en 1609, après 8 ans de calculs, Johannes Kepler édite deux lois relatives au déplacement de la Terre en révolution autour du Soleil. Pour construire notre représentation de l'orbite terrestre, nous utilisons d'abord la première loi que voici dans sa version originale :

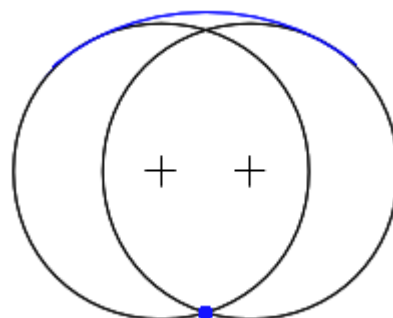
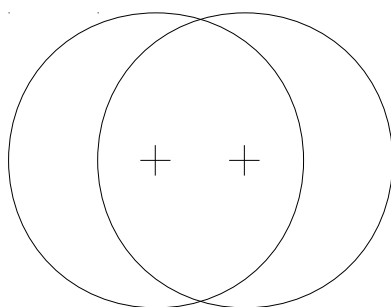
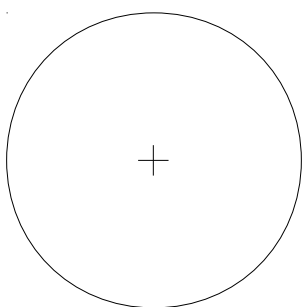
Erstes Keplersches Gesetz :

Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

À savoir :

Les planètes se déplacent sur des orbites elliptiques, le Soleil occupant un des foyers de l'ellipse.

Pour réussir à modéliser cette orbite, il nous faut répondre aux prérequis correspondant au traçage d'une ellipse au compas, activité tout à fait envisageable au CM1 ou au CM2.

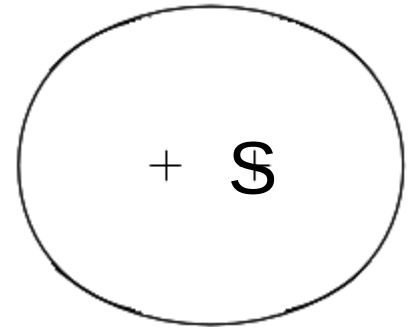
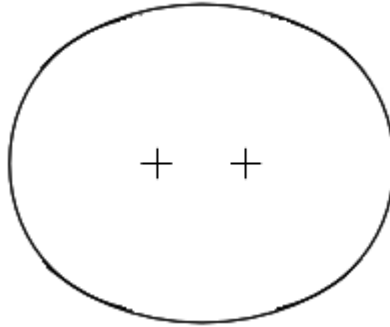
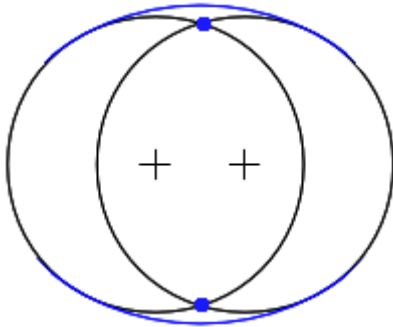


Tracer un cercle d'un rayon de 7,5 cm.

Tracer un second cercle d'un rayon de 7,5 cm.

Les deux centres des cercles sont les foyers.

À une intersection des cercles, piquer le compas, l'ouvrir d'un rayon de 15 cm correspondant au diamètre d'un cercle précédent et relier les deux cercles.



À l'autre intersection des cercles, piquer le compas, garder le rayon de 15 cm correspondant au diamètre d'un cercle précédent et relier les deux cercles.

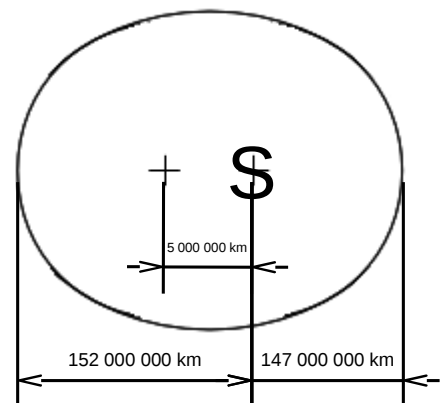
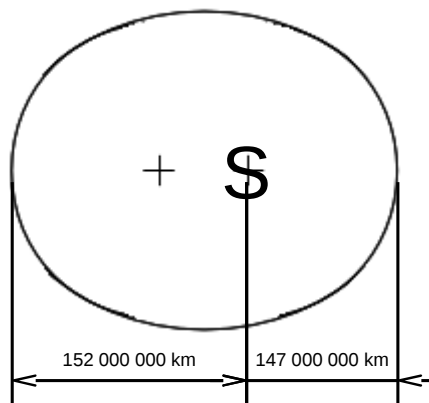
Gommer les traits de construction.

Placer la lettre S (pour le Soleil) sur un des foyers.

Voici donc le tracé d'une ellipse montrant un bel ovale qui pourrait correspondre à l'orbite terrestre.



Maintenant que nous savons tracer une ellipse, appliquons lui les données astronomiques connues, correspondant aux positions de la Terre par rapport au Soleil.

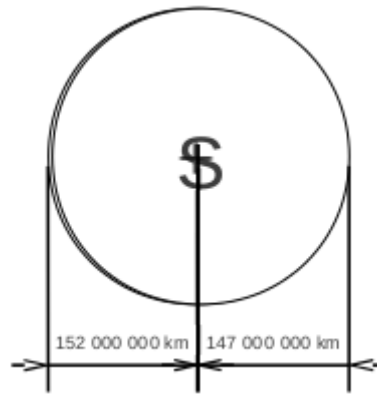


On se rend compte d'une incongruité manifeste en ce sens que 5 000 000 km sont représentés comme un peu plus de la moitié de 147 000 000 km.

Il nous faut donc tracer notre ellipse d'orbite terrestre en respectant les proportions des distances entre l'étoile (le Soleil) et la planète (la Terre).

Pour ce faire, on considère que la distance moyenne de la Terre au Soleil étant de 150 000 000 km, le rayon de 7,5 cm en sera la représentation (à l'échelle 1/2000 000 000 000ème).

Ceci veut dire que pour représenter l'écart entre les deux foyers de l'ellipse à cette échelle, il nous faudra décaler le compas de..... 2,5 mm.

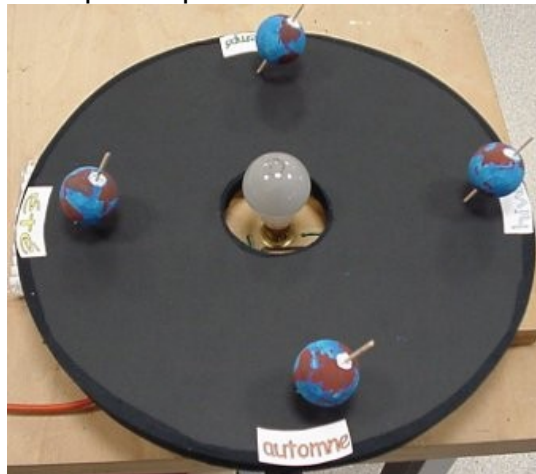


La représentation de l'orbite elliptique terrestre est donc un cercle « mal tracé » et non une forme de ballon de rugby.

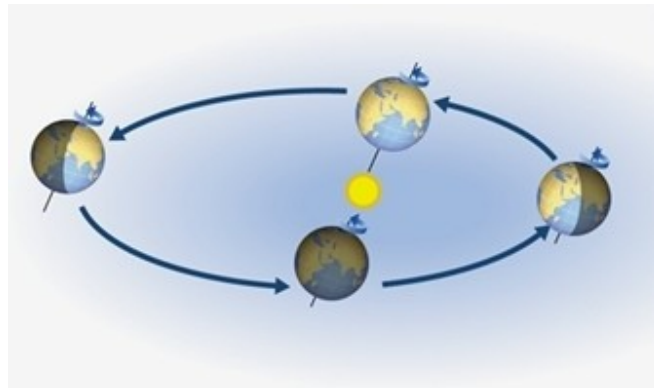
Cette orbite peut être reportée en grand dans la cour en prenant une corde faisant 1,50 m soit 150 cm correspondant au rayon moyen de 150 000 000 km réels. Dans ce cas, l'écart entre les deux foyers de l'orbite est de 5 cm correspondant aux 5 000 000 km de la réalité.



Il est donc plus judicieux de réaliser une maquette de forme circulaire pour illustrer les positions de la Terre aux quatre saisons plutôt qu'un ovale.

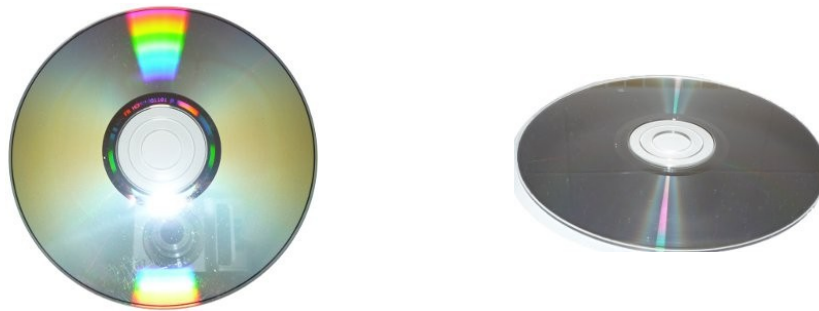


Mais dans ce cas, pourquoi cette orbite est-elle toujours schématisée ou dessinée comme un ovale prononcé dans les manuels ?



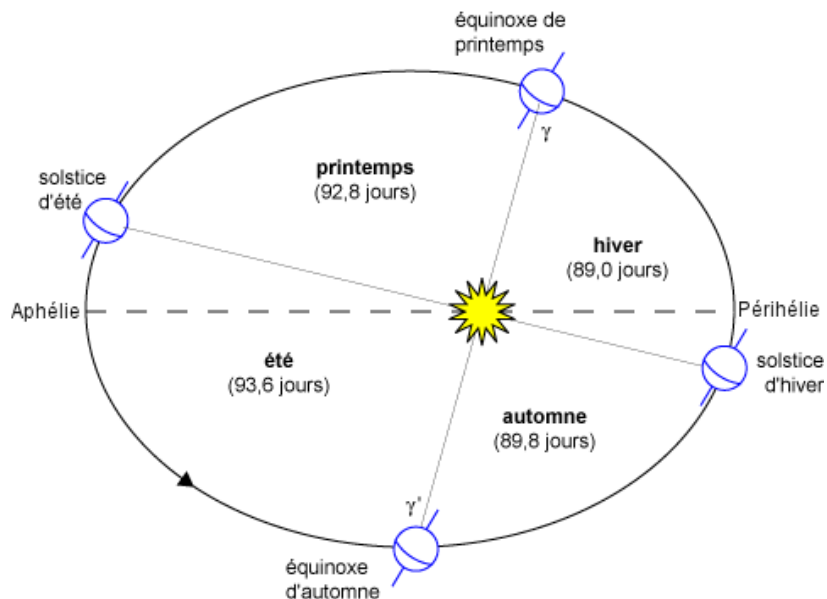
Le fait est que pour bien marquer l'obliquité de la Terre par rapport au plan de l'écliptique, les auteurs montrent l'orbite de profil (ou en perspective).

En prenant un objet circulaire en photo, d'abord en vue du dessus puis en perspective, on se rend bien compte de l'effet d'écrasement du cercle pour en faire un ovale.



Par contre il est dommage que les auteurs ne mentionnent pas systématiquement le fait que l'image soit en perspective et déforme donc l'orbite.

Ce qui est plus ennuyeux encore concerne la position du Soleil comme étant fortement désaxée par rapport à ce qu'elle devrait être. Nous avons vu plus haut l'aberration générée au niveau des 5 000 000 de km d'écart entre les deux foyers de l'ellipse, montrés comme 15 fois plus grands.



La gravure ci-dessus, hormis quelques erreurs de proportion géométrique, nous indique la nomenclature à respecter au niveau de l'appellation du rayon le plus long de l'ellipse, point où la

Terre se trouve être la plus éloignée du Soleil.

Cette nomenclature fait référence à l'apoapside, nom générique qui désigne le point le plus éloigné d'un objet céleste par rapport au foyer de l'ellipse constituant son orbite.

Si le Soleil correspond au foyer, on parle d'aphélie (nom masculin) puisque le radical « hélié » se réfère à hélios, le Soleil en grec.

Si c'est la Terre qui correspond au foyer pour ses satellites artificiels ou pour la Lune qui gravite autour d'elle, on parle d'apogée, on utilise le radical « gée » qui désigne la Terre en grec.

L'antonyme d'aphélie est le périhélie, point le plus proche de l'orbite par rapport au foyer de l'ellipse. Le périhélie est atteint en hiver alors que l'aphélie est atteint en été.

Notons qu'il faut bien prévenir les élèves que la représentation du Soleil n'est absolument pas représentative de la réalité de sa taille (en respectant les proportions) puisque son diamètre est à peu près 100 fois supérieur à celui de la Terre. Enfin, **la révolution de la Terre autour du Soleil se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, vue du Nord.**

IX. Séance 7 : Pourquoi fait-il froid en hiver ?

À cette question, une grande majorité de la population répond que le froid hivernal est dû à l'éloignement de la Terre par rapport au Soleil. Or nous venons de voir que la position de la Terre en hiver est celle du périhélie, point le plus rapproché.

Objectif de la séance : L'EdEC d'identifier deux phénomènes responsables de la différence de température observable entre l'hiver et l'été.



Le vécu quotidien des élèves les amène à constater que les habitudes vestimentaires et les activités humaines sont assez différentes d'une saison à l'autre, les conditions météorologiques étant propices à certaines plus qu'à d'autres, à un moment donné de l'année.

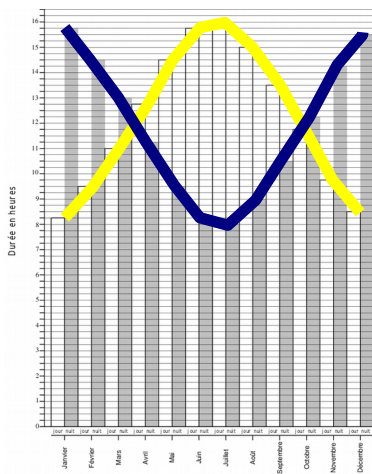


En règle générale, on sait qu'il fait froid en hiver et qu'il fait chaud en été dans l'hémisphère Nord, mais on sait également que, lorsque nous fêtons Noël sous la neige, les Australiens se régalaient sur la plage en plein été austral.

À l'hiver septentrional correspond l'été austral et à l'été correspond l'hiver austral.

Ces indications nous sont très utiles pour mettre en lumière les paramètres physiques et géométriques responsables des variations saisonnières sur notre planète.

Nous avons établi au cours de la séance 4 que la durée d'éclairement de nos régions en été est de 16 heures alors qu'elle n'est que de 8 heures en hiver.



Ce souvenir, dont on peut remonter ici succinctement le graphique, conduit à la constatation suivante : Si l'on chauffe un lieu pendant 8 heures sur 24, cela veut dire qu'il se refroidit pendant les 16 heures qui suivent.

À l'inverse, si l'on chauffe un lieu pendant 16 heures, il n'a que 8 heures pour se refroidir. Ainsi, si l'on transpose cette constatation au chauffage domestique, il tombe sous le sens qu'il fera bien meilleur dans un appartement chauffé pendant 16 heures d'affilées plutôt que pendant 8 heures.

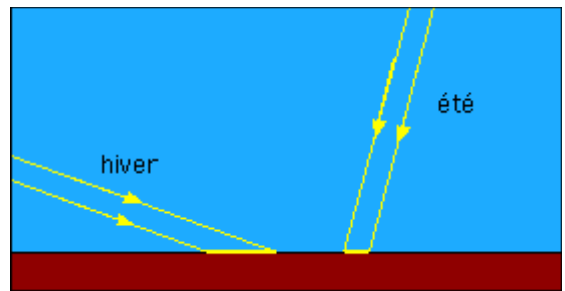
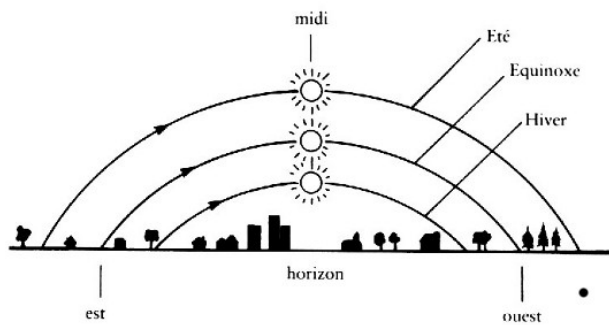
CQFD



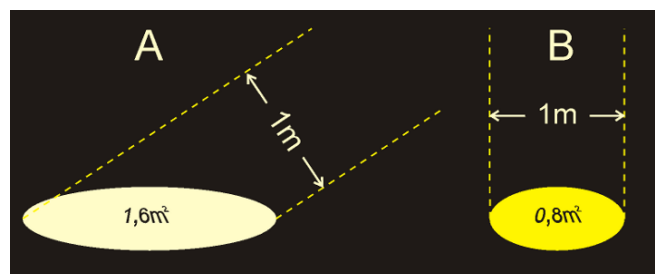
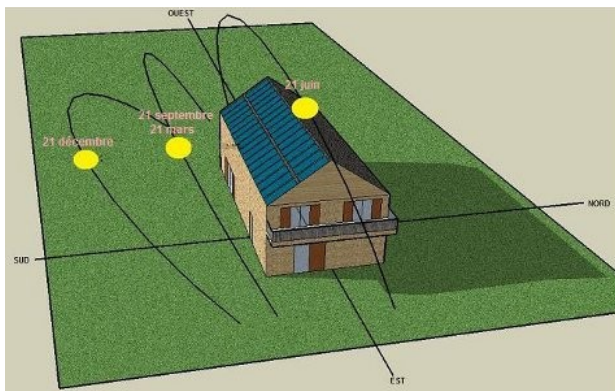
On peut donc d'ores et déjà annoncer que **la durée journalière d'éclairage est responsable de la température moyenne relevée lors des saisons successives.**



Les manuels scolaires abordent ce problème de variations saisonnières en se référant à l'inclinaison des rayons lumineux solaires en les présentant de la façon suivante :



La course apparente du Soleil dans le ciel atteint un point culminant dans la journée. Cette hauteur maximum varie avec les saisons. Il en résulte une inclinaison des rayons lumineux qui se fait avec un angle fermé en hiver et un angle plus ouvert en été. Pour un même faisceau lumineux, la surface éclairée au sol est plus importante lorsque l'angle est fermé.



Ceci sous-entend, à juste titre, qu'un même faisceau de lumière (donc un apport de chaleur) est moins efficace pour chauffer une grande surface que pour en chauffer une petite (voir plus bas). Il est regrettable que les élèves n'élucident pas pourquoi l'angle d'incidence des rayons varie alors qu'ils sont habitués à modéliser les situations spatiales.

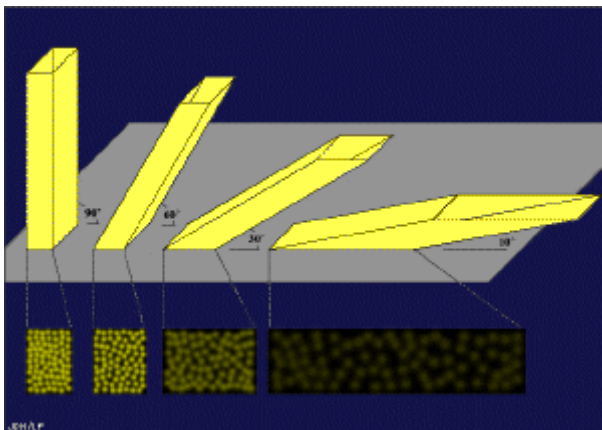
La largeur du faisceau global que le Soleil envoie en direction de la Terre fait la valeur de son diamètre (environ 1 392 000 km). Si l'on se focalise sur une portion du faisceau atteignant notre latitude au moment des positions qu'adopte la Terre en été et en hiver, la situation peut se résumer ainsi :



Position en été

Position en hiver

On constate bien que, du fait de l'obliquité de la Terre dans ces positions (à savoir, Pôle Nord penché vers le Soleil en été et Pôle Nord « fuyant » le Soleil en hiver), les angles d'incidence des rayons au sol sont différents. L'angle est ouvert en été et plus fermé en hiver. Ceci signifie que lorsque l'on regarde vers le Soleil en prenant l'horizon pour repère (les droites tangentiels au globe sur notre dessin), l'on doit lever davantage la tête en été qu'en hiver car le Soleil paraît plus haut sur l'horizon en été.



Si l'on représente le faisceau de lumière en volume, sa largeur et son épaisseur étant constantes, on remarque bien que la surface au sol varie en fonction de l'angle d'incidence : plus l'angle est fermé, **plus la surface est grande et plus la densité de lumière véhiculée dans le faisceau est faible, moins il y a de chaleur.**

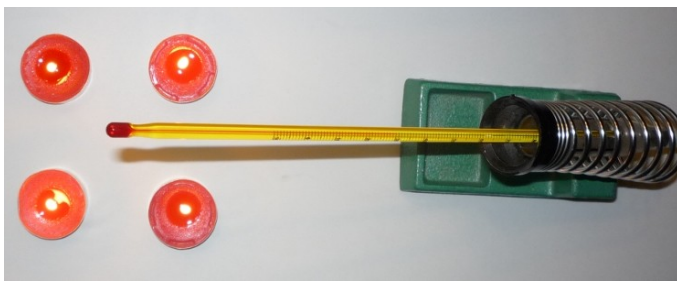
On sait qu'en cas d'éclipse du Soleil par exemple, la diminution de lumière s'accompagne d'une diminution de chaleur.



Il est possible de modéliser ce phénomène afin que les élèves constatent par eux-mêmes la relation existant entre surface éclairée et chaleur disponible. On utilise pour cela des bougies qui produisent effectivement de la lumière et de la chaleur.

Quatre bougies sont placées sur une table pour délimiter un carré fictif. À l'aplomb de ces bougies, un thermomètre -10°C ; 110°C est positionné de telle sorte que son réservoir se trouve à la verticale de l'intersection des diagonales du carré aux 4 coins duquel se trouvent les bougies. La hauteur est d'une vingtaine de centimètres pour profiter du flux de chaleur émanant des bougies.



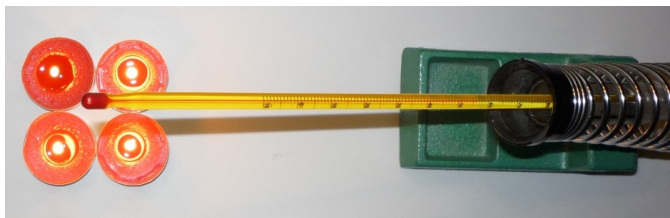


Temps (min)	T°C
0	23,5
1	24
2	24,5
3	25
4	25,5
5	25,5
6	26
7	26,5

Temps (min)	T°C
8	26,5
9	27
10	29
11	31
12	31
13	32,5
14	32,5
15	32

Dans cette configuration, le tableau des valeurs mesurées montre une augmentation progressive des températures pour atteindre environ 32°C. Cette dernière valeur est un peu fluctuante du fait des déplacements d'air des élèves qui se rapprochent du thermomètre pour en faire la lecture, ce qui perturbe un peu le flux de chaleur en convection à l'aplomb du réservoir.

Les relevés étant faits sur une durée de 15 minutes, on éteint l'ensemble du dispositif, on laisse refroidir les bougies et le thermomètre puis on recommence l'expérience en groupant cette fois les bougies de telle sorte que la surface du carré précédent soit réduite.



Temps (min)	T°C
0	24
1	36
2	43
3	47
4	56
5	59
6	61
7	62

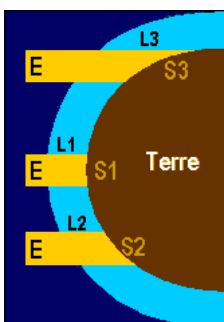
Temps (min)	T°C
8	61
9	59
10	59
11	59
12	61
13	63
14	60
15	60

Lors de cette deuxième phase, l'augmentation de température est rapide car on atteint les températures maximales en 5 minutes. Le flux de chaleur est très sensible à l'aplomb du réservoir du thermomètre. Aux alentours de 60°C, les fluctuations sont dues aux mouvements des élèves pour la lecture et aux variations des flammes des bougies qui s'ajustent en fonction de la quantité de mèche et de liquide combustible à disposition (comme la bougie en haut à gauche qui présentait de temps en temps une petite flamme à 59°C et une « normale » identiques aux autres à 63°C).



On peut donc affirmer que, ***pour une même source de chaleur, la température est plus élevée lorsque la surface chauffée est plus petite***, ce qui correspond à la situation estivale par rapport à la densité de lumière (concentration des rayons) arrivant au sol.

Il y a néanmoins un autre facteur responsable de la situation de froidure en hiver et de chaleur en été, mais il n'est pas obligatoirement évoqué avec les élèves qui doivent essentiellement retenir que la durée d'ensoleillement variable et la concentration de lumière arrivant au sol sont responsables des températures moyennes au cours des saisons.



Le troisième facteur dépend de la couche d'atmosphère enveloppant la Terre dont l'épaisseur est considérée comme faisant à peu près 500 km. Nous avons vu qu'en hiver, notre position spatiale est placée au Nord (position L3 sur le schéma ci-contre), ce qui provoque une grande surface d'éclairement au sol et donc ***un grand volume d'atmosphère à traverser avant de toucher le sol. Cette grande quantité d'atmosphère va absorber une partie de la chaleur*** avant que celle-ci n'atteigne le sol.