



# COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement  
privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

**Première - Module 2 - La Terre, un astre singulier**

## Enseignement Scientifique

v.5.1



- ✓ **Guide de méthodologie**  
pour appréhender notre pédagogie
- ✓ **Leçons détaillées**  
pour apprendre les notions en jeu
- ✓ **Exemples et illustrations**  
pour comprendre par soi-même
- ✓ **Prolongement numérique**  
pour être acteur et aller + loin
- ✓ **Exercices d'application**  
pour s'entraîner encore et encore
- ✓ **Corrigés des exercices**  
pour vérifier ses acquis

[www.cours-pi.com](http://www.cours-pi.com)

Paris & Montpellier



# EN ROUTE VERS LE BACCALAURÉAT

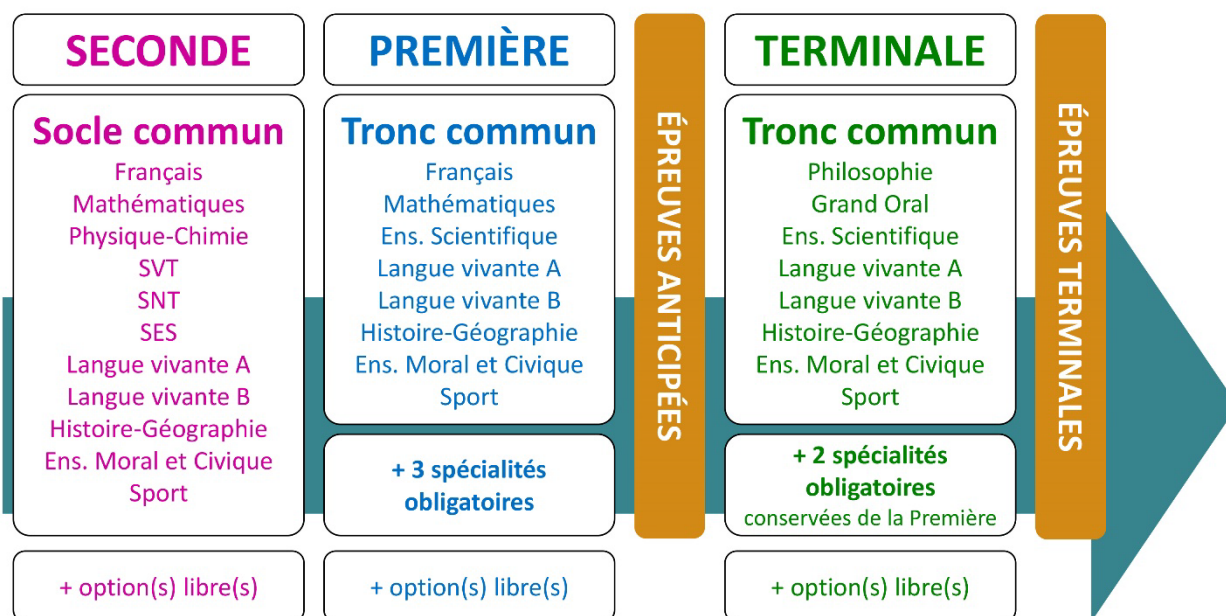
Comme vous le savez, la **réforme du Baccalauréat** est entrée en vigueur progressivement jusqu'à l'année 2021, date de délivrance des premiers diplômes de la nouvelle formule.

Dans le cadre de ce nouveau Baccalauréat, **notre Etablissement**, toujours attentif aux conséquences des réformes pour les élèves, s'est emparé de la question avec force **énergie** et **conviction** pendant plusieurs mois, animé par le souci constant de la réussite de nos lycéens dans leurs apprentissages d'une part, et par la **pérennité** de leur parcours d'autre part. Notre Etablissement a questionné la réforme, mobilisé l'ensemble de son atelier pédagogique, et déployé tout **son savoir-faire** afin de vous proposer un enseignement tourné continuellement vers **l'excellence**, ainsi qu'une scolarité tournée vers la **réussite**.

- Les **Cours Pi** s'engagent pour faire du parcours de chacun de ses élèves un **tremplin vers l'avenir**.
- Les **Cours Pi** s'engagent pour ne pas faire de ce nouveau Bac un diplôme au rabais.
- Les **Cours Pi** vous offrent **écoute** et **conseil** pour coconstruire une **scolarité sur-mesure**.

## LE BAC DANS LES GRANDES LIGNES

Ce nouveau Lycée, c'est un enseignement à la carte organisé à partir d'un large tronc commun en classe de Seconde et évoluant vers un parcours des plus spécialisés année après année.



### CE QUI A CHANGÉ

- Il n'y a plus de séries à proprement parler.
- Les élèves choisissent des spécialités : trois disciplines en classe de Première ; puis n'en conservent que deux en Terminale.
- Une nouvelle épreuve en fin de Terminale : le Grand Oral.
- Pour les lycéens en présentiel l'examen est un mix de contrôle continu et d'examen final laissant envisager un diplôme à plusieurs vitesses.
- Pour nos élèves, qui passeront les épreuves sur table, le Baccalauréat conserve sa valeur.

### CE QUI N'A PAS CHANGÉ

- Le Bac reste un examen accessible aux candidats libres avec examen final.
- Le système actuel de mentions est maintenu.
- Les épreuves anticipées de français, écrit et oral, tout comme celle de spécialité abandonnée se dérouleront comme aujourd'hui en fin de Première.



A l'occasion de la réforme du Lycée, nos manuels ont été retravaillés dans notre atelier pédagogique pour un accompagnement optimal à la compréhension. Sur la base des programmes officiels, nous avons choisi de créer de nombreuses rubriques :

- **Suggestions de lecture** pour s'ouvrir à la découverte de livres de choix sur la matière ou le sujet
- **Réfléchissons ensemble** pour guider l'élève dans la réflexion
- **L'essentiel** et **Le temps du bilan** pour souligner les points de cours à mémoriser au cours de l'année
- **Pour aller plus loin** pour visionner des sites ou des documentaires ludiques de qualité
- Et enfin... la rubrique **Les Clés du Bac by Cours Pi** qui vise à vous donner, et ce dès la seconde, toutes les cartes pour réussir votre examen : notions essentielles, méthodologie pas à pas, exercices types et fiches étape de résolution !

## ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

### Module 2 – La Terre, un astre singulier

#### L'AUTEUR



#### Mathieu MEYER

« **Le discours d'un professeur doit s'adapter aux besoins des élèves** ». Enseignant expérimenté, Docteur en Chimie et Physico-chimie, il s'adapte facilement à tout public et accompagne élèves et étudiants dans leurs challenges. Doté d'un esprit positif, son approche de l'enseignement scientifique est axée sur le raisonnement, la compréhension, les applications et la manipulation. Passionné de football et supporter de Lyon depuis toujours, il est aussi un coureur de fond et de trail dont les temps laissent rêver... 36min sur 10km, 1h18 sur semi-marathon.

#### PRÉSENTATION

Aujourd'hui, tout scientifique est confronté à la communication. Sa recherche n'est utile pour la société que si elle est communiquée, vulgarisée et expliquée. Savoir commenter des données, argumenter un point de vue scientifique et développer un raisonnement sont des qualités indéniables d'un chercheur ou d'un ingénieur dont les fondamentaux s'apprennent depuis le plus jeune âge.

La discipline « enseignement scientifique » va non seulement permettre aux élèves de constituer leur socle de connaissances culturelles et notionnelles scientifiques, mais aussi de les préparer à analyser, commenter, communiquer et argumenter ses raisonnements, qualités utiles à tout citoyen, à une époque où les grandes questions scientifiques deviennent la responsabilité de chacun.

Ce sont ces compétences qui seront évaluées au baccalauréat et c'est à cela que va vous préparer par étapes, de façon très guidée, ce module d'enseignement scientifique.

#### CONSEILS A L'ÉLÈVE

Vous disposez d'un support de Cours complet : **prenez le temps** de bien le lire, de le comprendre mais surtout de l'**assimiler**. Vous disposez pour cela d'exemples donnés dans le cours et d'exercices types corrigés. Vous pouvez rester un peu plus longtemps sur une unité mais travaillez régulièrement.

## LES FOURNITURES

Vous devez posséder :

- une **calculatrice graphique pour l'enseignement scientifique au Lycée comportant un mode examen (requis pour l'épreuve du baccalauréat)**.
- un **tableur** comme Excel de Microsoft (payant) ou Calc d'Open Office (gratuit et à télécharger sur <http://fr.openoffice.org/>). En effet, certains exercices seront faits de préférence en utilisant un de ces logiciels, mais vous pourrez également utiliser la calculatrice).

## LES DEVOIRS

Les devoirs constituent le moyen d'évaluer l'acquisition de **vos savoirs** (« Ai-je assimilé les notions correspondantes ? ») et de **vos savoir-faire** (« Est-ce que je sais expliquer, justifier, conclure ? »).

Placés à des endroits clés des apprentissages, ils permettent la vérification de la bonne assimilation des enseignements.

Aux *Cours Pi*, vous serez accompagnés par un **professeur selon chaque matière** tout au long de votre année d'étude. Référez-vous à votre « Carnet de Route » pour l'identifier et découvrir son parcours.

Avant de vous lancer dans un devoir, assurez-vous d'avoir **bien compris les consignes**.

**Si vous repérez des difficultés lors de sa réalisation**, n'hésitez pas à le mettre de côté et à revenir sur les leçons posant problème. **Le devoir n'est pas un examen**, il a pour objectif de s'assurer que, même quelques jours ou semaines après son étude, une notion est toujours comprise.

**Aux Cours Pi, chaque élève travaille à son rythme, parce que chaque élève est différent et que ce mode d'enseignement permet le « sur-mesure ».**

Nous vous engageons à respecter le moment indiqué pour faire les devoirs. Vous les identifierez par le bandeau suivant :



Vous pouvez maintenant  
faire et envoyer le **devoir n°1**



Il est **important de tenir compte des remarques, appréciations et conseils du professeur-correcteur**. Pour cela, il est **très important d'envoyer les devoirs au fur et à mesure** et non groupés. **C'est ainsi que vous progresserez !**

**Donc, dès qu'un devoir est rédigé**, envoyez-le aux *Cours Pi* par le biais que vous avez choisi :

- 1) Par **soumission en ligne** via votre espace personnel sur **PoulPi**, pour un envoi **gratuit, sécurisé** et plus **rapide**.
- 2) Par **voie postale** à *Cours Pi*, 9 rue Rebuffy, 34 000 Montpellier  
*Vous prendrez alors soin de joindre une **grande enveloppe libellée à vos nom et adresse**, et **affranchie au tarif en vigueur** pour qu'il vous soit retourné par votre professeur.*

**N.B. :** quel que soit le mode d'envoi choisi, vous veillerez à **toujours joindre l'énoncé du devoir ; plusieurs énoncés étant disponibles pour le même devoir**.

**N.B. :** si vous avez opté pour un envoi par voie postale et que vous avez à disposition un scanner, nous vous engageons à conserver une copie numérique du devoir envoyé. Les pertes de courrier par la Poste française sont très rares, mais sont toujours source de grand mécontentement pour l'élève voulant constater les fruits de son travail.

## VOTRE RESPONSABLE PÉDAGOGIQUE

Professeur des écoles, professeur de français, professeur de maths, professeur de langues : notre Direction Pédagogique est constituée de spécialistes capables de dissiper toute incompréhension.

Au-delà de cet accompagnement ponctuel, notre Etablissement a positionné ses Responsables pédagogiques comme des « super profs » capables de co-construire avec vous une scolarité sur-mesure.

En somme, le Responsable pédagogique est votre premier point de contact identifié, à même de vous guider et de répondre à vos différents questionnements.

Votre Responsable pédagogique est la personne en charge du suivi de la scolarité des élèves.

Il est tout naturellement votre premier référent : une question, un doute, une incompréhension ? Votre Responsable pédagogique est là pour vous écouter et vous orienter. Autant que nécessaire et sans aucun surcoût.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

QUEL  
EST  
SON  
RÔLE ?

**Orienter** les parents et les élèves.

**Proposer** la mise en place d'un accompagnement individualisé de l'élève.

**Faire évoluer** les outils pédagogiques.

**Encadrer** et **coordonner** les différents professeurs.

## VOS PROFESSEURS CORRECTEURS

Notre Etablissement a choisi de s'entourer de professeurs diplômés et expérimentés, parce qu'eux seuls ont une parfaite connaissance de ce qu'est un élève et parce qu'eux seuls maîtrisent les attendus de leur discipline. En lien direct avec votre Responsable pédagogique, ils prendront en compte les spécificités de l'élève dans leur correction. Volontairement bienveillants, leur correction sera néanmoins juste, pour mieux progresser.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Une question sur sa correction ?

- faites un mail ou téléphonez à votre correcteur et demandez-lui d'être recontacté en lui laissant **un message avec votre nom, celui de votre enfant et votre numéro.**
- autrement pour une réponse en temps réel, appelez votre Responsable pédagogique.

## LE BUREAU DE LA SCOLARITÉ

Placé sous la direction d'Elena COZZANI, le Bureau de la Scolarité vous orientera et vous guidera dans vos démarches administratives. En connaissance parfaite du fonctionnement de l'Etablissement, ces référents administratifs sauront solutionner vos problématiques et, au besoin, vous rediriger vers le bon interlocuteur.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.  
04.67.34.03.00  
scolarite@cours-pi.com



# LE SOMMAIRE

Enseignement Scientifique – Module 2 – La Terre, un astre singulier

<b>Rappels Mathématiques</b> .....	1
<b>Rappels sur le système solaire</b> .....	3
<b>Introduction générale au module</b> .....	4

## **CHAPITRE 1. La forme de la Terre**..... 5

### **Q COMPÉTENCES VISÉES**

- Débattre de la forme Terre et plus particulièrement revoir les raisonnements qui ont amené à connaître sa forme sphérique.
- Etudier le raisonnement d’Ératosthène pour retrouver la valeur du périmètre de la Terre.
- Déterminer une longueur par la triangulation.
- Se repérer sur Terre à partir du système de longitudes et latitudes.
- Identifier le chemin le plus court entre deux points du globe.
- Savoir déterminer la longueur d’un arc de parallèle ou de méridien.

<b>1. Une longue histoire</b> .....	10
<b>2. Une explication physique</b> .....	16
<b>3. Une mesure commune et unique : le mètre</b> .....	20
<b>4. Approche numérique du calcul du rayon de la Terre</b> .....	25
<b>5. Le système géodésique</b> .....	26
<b>Le temps du bilan</b> .....	33
<b>Exercices</b> .....	35

## **CHAPITRE 2. L’âge de la Terre**..... 47

### **Q COMPÉTENCES VISÉES**

- Reconnaître les différentes étapes de la datation de l’âge de la Terre.
- Identifier les différentes controverses historiques liées à cette datation.
- Connaître les différentes méthodes utilisées.

<b>1. Une longue histoire parsemée d’erreurs et de débats</b> .....	50
<b>2. Quand la radioactivité nous donne une valeur précise</b> .....	55
<b>Le temps du bilan</b> .....	58
<b>Exercices</b> .....	59

## **CHAPITRE 3. La Terre dans l'Univers**..... 67

### **Q COMPÉTENCES VISÉES**

- Connaître les arguments sur les théories géocentriques et héliocentriques.
- Connaître la controverse majeure liée au référentiel héliocentrique.
- Décrire les mouvements de la Terre et de la Lune.
- Décrire les différents aspects de la Lune.

**1. L'histoire du système de référence astronomique**..... 70

**2. Le mouvement de la Terre dans le référentiel héliocentrique** ..... 73

**3. L'Univers aujourd'hui** ..... 74

**Le temps du bilan** ..... 80

**Exercices**..... 82

## **LES CLÉS DU BAC**..... 93

## **CORRIGÉS des exercices**..... 109



## ESSAIS

- **Une histoire de tout, ou presque...** *Bill Bryson*
- **Les lois essentielles de la physique : pour tous** *Joanne Baker*
- **Une brève histoire du temps** *Stephen Hawking*
- **Poussières d'étoiles** *Hubert Reeves*
- **L'univers expliqué à mes petits-enfants.** *Hubert Reeves*
- **Discours sur l'origine de l'univers** *Etienne Klein*
- **Le destin de l'univers** *Jean-Pierre Luminet*
- **Mais qui a attrapé le bison de Higgs ?** *David Louapre*
- **Petite excursion dans le cosmos** *Neil DeGrasse Tyson*

## BANDES DESSINÉES

- **Dans la combi de Thomas Pesquet** *Marion MONTAIGNE*
- **Le Mystère du monde quantique** *Thibault Damour & Mathieu Burniat Burniat*

## PODCASTS

- **Savant sachant chercher** *Brian Greene*
- **Eurêka** *France Culture*
- **Le Pourquoi du comment : science** *France Culture*
- **La méthode scientifique** *France Culture*
- **Futura dans les étoiles** *Futura sciences*
- **Choses à savoir** *Sciences*
- **La tête au carré** *France Inter*

## DOCUMENTAIRES AUDIOVISUELS

- **Cosmos : une odysée à travers l'univers (13 épisodes)** *Neil deGrasse Tyson*
- **La fabuleuse histoire de la science (6 épisodes)**
- **La magie du cosmos (3 épisodes)** *Brian Greene*



## I) LES ATTENDUS DU PROGRAMME

---

### L'OBJECTIF DE L'ÉVALUATION

---

« Le sujet évalue les compétences suivantes : exploiter des documents ; organiser, effectuer et contrôler des calculs ; rédiger une argumentation scientifique. Chaque exercice évalue plus particulièrement une ou deux de ces compétences. Toute formulation de question est envisageable : de la question ouverte jusqu'au questionnaire à choix multiples. »

### LES MODULES CONCERNES

---

« En classe de première, l'épreuve porte sur l'ensemble du programme de première, en dehors du projet expérimental et numérique ».

« Les épreuves communes de contrôle continu pour l'enseignement scientifique sont des épreuves écrites constituées de deux exercices interdisciplinaires. Chaque exercice présente une cohérence thématique et porte sur un ou deux thèmes du programme ».

### LA DURÉE DE L'ÉPREUVE

---

« Durée de chaque épreuve : 2 heures ».

### NOTATION DE L'ÉPREUVE

---

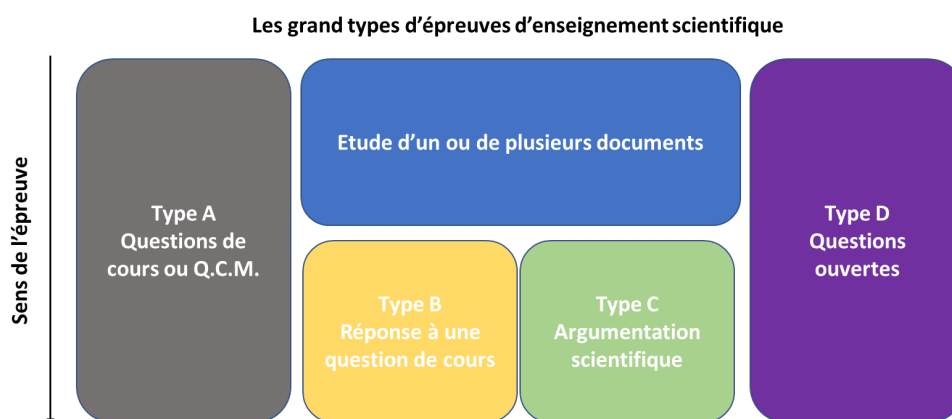
« Chaque épreuve est notée sur 20 points. Chaque exercice est noté sur 10 points ».

## II) LES TYPES D'ÉPREUVES

---

Quatre grands types d'exercices vont être rencontrés lors de ce module :

- La question de cours ou Q.C.M. (type A)
- Le document ou l'ensemble de document avec une question de cours (type B)
- Le document ou l'ensemble de document avec une argumentation scientifique (type C)
- Une question ouverte (type D)



L'objectif de ce manuel est de travailler ensemble la méthode pour répondre à ces trois types d'exercices. Les méthodes d'études de documents, de rédaction et d'argumentation vont être décortiquées, expliquées et un travail d'accompagnement graduel de l'élève pour maîtriser ces méthodes va être effectué.

### III) RECONNAÎTRE LES DIFFÉRENTS TYPES D'EXERCICES

---

La première étape de la résolution de tous ces exercices est bien évidemment d'arriver à reconnaître le type d'exercice rencontré afin d'effectuer la bonne méthodologie.

Malgré des similitudes pour certains, tous ces exercices sont assez différents et facilement identifiables.

#### QUESTIONS DE TYPE A :

---

Les questions de type A telles qu'une question de cours ou une question à choix multiples (Q.C.M.) sont facilement reconnaissables par leurs formes. Voici un exemple d'une question de cours tirée des sujets 0 fournis par l'Education Nationale :

« Nommer le mécanisme biologique à l'origine de la synthèse du glucose par les plantes terrestres et donner l'équation de réaction de cette synthèse de matière végétale (on veillera à ajuster les nombres stœchiométriques de l'équation). Préciser les organes impliqués dans les échanges entre la plante et son milieu. »

Ce type de question fait appel uniquement aux notions vues dans le manuel. L'élève doit y répondre de manière synthétique, par des phrases claires et assez courtes (il vaut mieux éviter les phrases de 5 lignes où le correcteur risque de se perdre).

Les questions à choix multiples (Q.C.M.) sont, elles, reconnaissables par leurs formes bien à elles comme nous le montre toujours les sujets 0 :

QCM1 : La date de désintégration d'un noyau individuel de  $^{14}\text{C}$  dont on connaît la date de création (prise comme origine) est :

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> aléatoire.        | <input type="checkbox"/> prévisible.                                     |
| <input type="checkbox"/> égale à 5730 ans. | <input type="checkbox"/> comprise avec certitude entre 100 et 10000 ans. |

QCM2 : La durée nécessaire à la désintégration radioactive de la moitié des noyaux radioactifs d'un échantillon dépend :

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> du nombre initial de noyaux.      | <input type="checkbox"/> du volume de l'échantillon. |
| <input type="checkbox"/> de la nature chimique des noyaux. | <input type="checkbox"/> de la température.          |

Ces questions de cours ou ces questions à choix multiples ne feront jamais l'objet d'un exercice complet. Elles apparaîtront très souvent dans chaque exercice et ont pour but de rassurer l'élève, de lui permettre d'acquérir des points mêmes si le reste de l'exercice lui semble incompréhensible. Dans le cadre d'une épreuve de bac, il est même conseillé de commencer par celles-ci afin d'être certain de ne les avoir faites en cas de manque de temps.

Dans le cadre de ce partie méthodologie, ces questions ne seront pas abordées.

#### QUESTION DE TYPE B

---

La question de type B sera (avec la question de type C) la question la plus répandue. Elle vise à vérifier la capacité des élèves d'étudier des documents inconnus et à les lier avec les notions vues dans le cours. De nombreuses qualités d'observations, d'études et d'organisations de réponses sont nécessaires sur ce type de questionnement. Les élèves en sont généralement tous capables mais de cruels manques de méthodes sont souvent la cause des difficultés.

L'idée de ce genre d'exercices est d'utiliser le cours et de nouvelles informations pour répondre à une question. Dans ce genre de question, il ne faut pas faire d'argumentation scientifique, il faut juste analyser le document et répondre à la question en justifiant la réponse.

Voici plusieurs exemples tirés des sujets 0 :

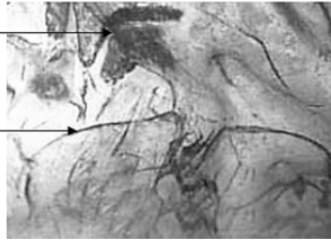
### Exemple 1

« A partir de vos connaissances et des informations apportées par les documents 1 et 2, répondre à la question suivante.

**Document 1 : Deux rhinocéros qui s'affrontent représentés sur le panneau des chevaux dans la salle Saint-Hilaire de la grotte Chauvet**

Mouchage  
de torche

Trait réalisé au  
charbon de bois



Un mouchage est un frottement de la torche sur la paroi de la grotte pour retirer la partie carbonisée qui asphyxie la flamme.

Les analyses des pigments ont révélé que les peintures ont été réalisées avec des fragments de charbon de bois (traits noirs) et des minéraux :

- Le rouge est constitué d'oxydes de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Le noir de dioxyde de manganèse ( $\text{MnO}_2$ )

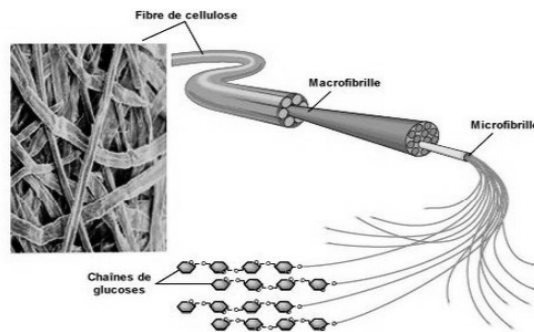
Sources : Dossier Pour La Science n°42 janvier Mars 2004

Hélène Valladas, Jean Cottés et Jean-Michel Geneste

**Document 2 : Les constituants du bois**

Les parois cellulaires très épaisses donnent au bois ses propriétés. Ces parois sont formées de deux constituants principaux, la cellulose et la lignine.

La cellulose est une macromolécule composée d'un enchainement de plusieurs glucoses de formule  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , comme le montre le schéma ci-contre.



Source : [http://p7.storage.canalblog.com/70/91/309207/14102700\\_p.jpg](http://p7.storage.canalblog.com/70/91/309207/14102700_p.jpg)

Justifier que les oxydes minéraux ne peuvent pas être datés par la méthode du carbone 14, alors que la datation est possible pour le charbon de bois. »

### Exemple 2

**Document 3 : datation par le carbone 14**

L'isotope  $^{14}\text{C}$  de l'élément carbone se désintègre en azote  $^{14}\text{N}$  et se régénère régulièrement en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air : il se retrouve donc en proportion constante dans tous les milieux et tous les êtres vivants. Lorsqu'un être vivant meurt, son métabolisme s'interrompt et son carbone n'est plus renouvelé. En raison de la désintégration radioactive, pour un échantillon donné, le rapport  $P/P_0$  du nombre d'atomes  $^{14}\text{C}$  résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort ( $P_0$ ) décroît au cours du temps.


Deux ensembles de mesures ont été réalisés pour la grotte Chauvet.

- le premier, réalisé sur des fragments de charbon de bois prélevés sur les peintures, fournit des valeurs  $P/P_0$  comprises entre 1,5 % et 2,5 %.
- le second ensemble de mesures, réalisé à partir des prélèvements sur les mouchages de torche, fournit des valeurs comprises entre 3,5 % et 4,5 %.

« Un graphique représentant le rapport  $P/P_0$  du nombre d'atomes  $^{14}\text{C}$  résiduel sur le nombre d'atomes  $^{14}\text{C}$  présent au moment de la mort en fonction du nombre d'années écoulées depuis la mort est donné sur la figure 1 de l'annexe à rendre avec la copie.

Estimer par un encadrement l'ancienneté des traces de l'habitation de la grotte Chauvet par les êtres humains préhistoriques en datant les mouchages de torche et les traits réalisés à l'aide de charbons de bois. »

Ce type de question fait surtout appel à l'analyse de documents. Les liens entre le document et le cours fournis par l'élève seront très prononcés.

 Dans certains exercices, un même document peut générer plusieurs questions de type B ou de type C.

### QUESTION DE TYPE C

La question de type C se base toujours sur un ou des documents ceux-ci ne sont que des supports à un raisonnement scientifique. L'élève est noté sur sa capacité après lecture d'un document inconnu à répondre à une question en proposant une argumentation scientifique. La réponse doit lier des informations du document, des notions du cours ainsi qu'une argumentation basée sur des faits scientifiques. La réponse doit contenir une hypothèse de départ (ou une problématique), un plan, une étude de documents et une réponse argumentée.

Ces questions sont beaucoup plus compliquées que les élèves ne le pensent. Il ne suffit pas d'avoir compris le document et trouver un argument. La rédaction, le raisonnement et le fil conducteur de votre réponse seront autant d'éléments importants pour acquérir un maximum de points.

Voici de potentielles questions :

#### Exemple 1

**Document 3 : datation par le carbone 14**

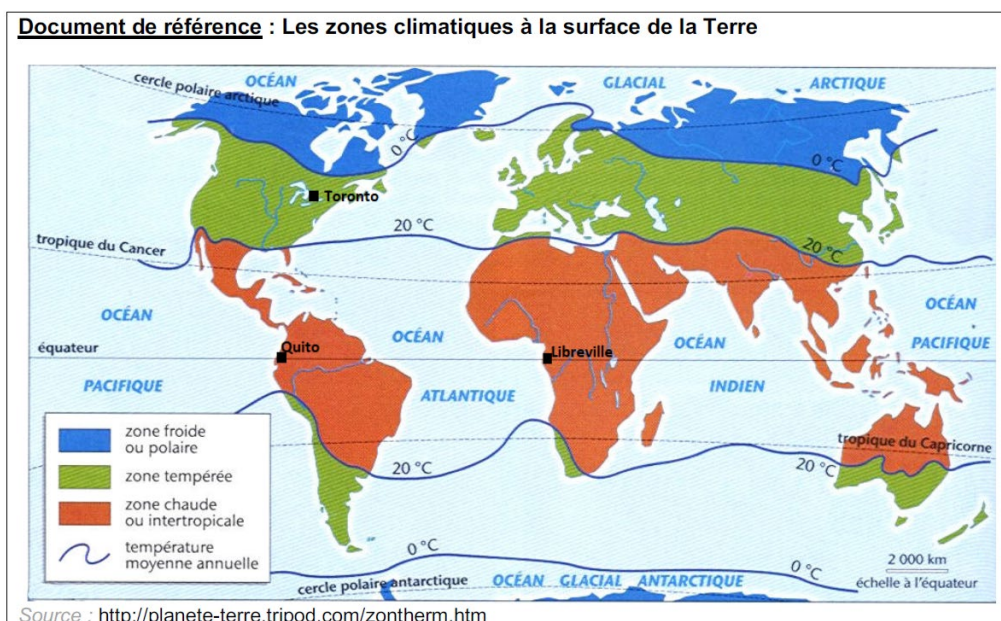
L'isotope  $^{14}\text{C}$  de l'élément carbone se désintègre en azote  $^{14}\text{N}$  et se régénère régulièrement en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air : il se retrouve donc en proportion constante dans tous les milieux et tous les êtres vivants. Lorsqu'un être vivant meurt, son métabolisme s'interrompt et son carbone n'est plus renouvelé. En raison de la désintégration radioactive, pour un échantillon donné, le rapport  $P/P_0$  du nombre d'atomes  $^{14}\text{C}$  résiduel (P) sur le nombre d'atomes présents moment de la mort ( $P_0$ ) décroît au cours du temps.

Deux ensembles de mesures ont été réalisés pour la grotte Chauvet.

- le premier, réalisé sur des fragments de charbon de bois prélevés sur les peintures, fournit des valeurs  $P/P_0$  comprises entre 1,5 % et 2,5 %.
- le second ensemble de mesures, réalisé à partir des prélèvements sur les mouchages de torche, fournit des valeurs comprises entre 3,5 % et 4,5 %.

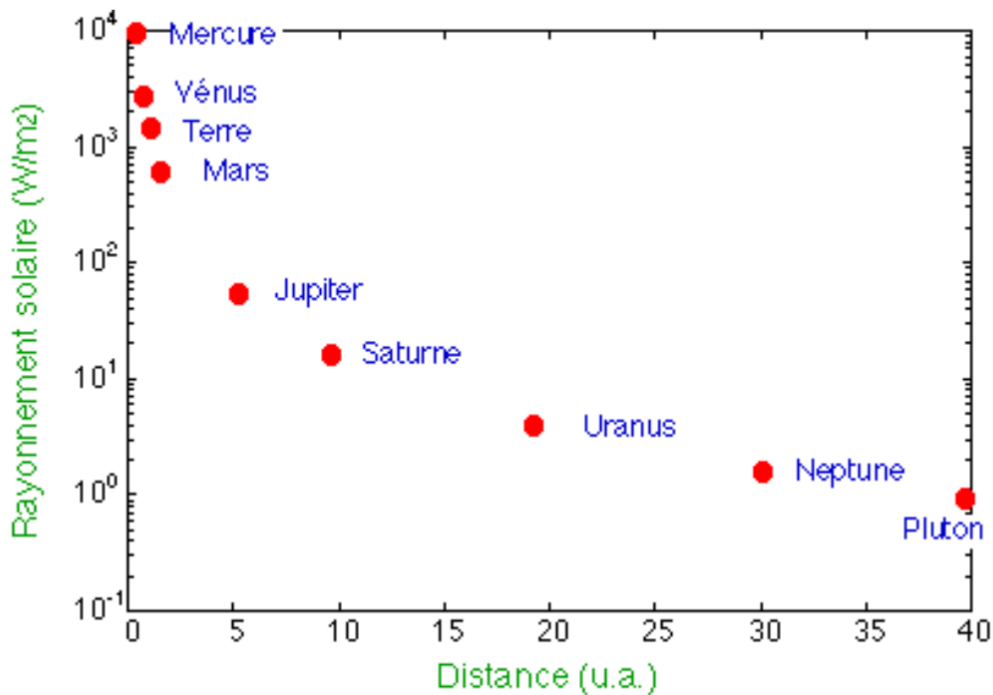
« Expliquer en quelques phrases comment la méthode de datation par le carbone 14 utilisée en archéologie illustre l'intérêt de la coopération entre plusieurs champs disciplinaires scientifiques ».

#### Exemple 2



Sur cette carte, on constate que Quito et Libreville, qui sont à la même latitude, sont dans une zone chaude intertropicale. Pour Toronto, situé à la même longitude que Quito, la température moyenne annuelle est plus froide.

**Document 3 : Puissance solaire reçue en fonction de la distance au Soleil (en unités astronomiques u.a. 1u.a. = 1,5×10<sup>8</sup> km)**



Source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/explication-temperature.xml>

**Document 4 : Puissance solaire reçue par unité de surface en fonction de la latitude**



Résultat observé pour un même éclairage de l'équateur (à gauche) et des pôles (à droite)

latitude	0°	45° nord	60° nord	89° nord
Pays, régions, villes correspondant à la latitude	Equateur, Brésil, Kenya	Bordeaux	Oslo, St Pétersbourg	Pôle nord
Surface recevant une même quantité d'énergie (m²)	1	1,4	2	57
Puissance solaire reçue en moyenne par unité de surface (W / m²)	420	420 X 1 / 1,4 = 300	420 X 1 / 2 = 210	420 X 1 / 57 = 7,36

Tableau de correspondance entre la latitude et l'énergie solaire reçue par unité de surface

Source : D'après <http://www.ac-grenoble.fr/armorin.crest/>

Afin d'expliquer ces différences climatiques, un élève a proposé comme hypothèse :

« Il fait plus chaud à l'équateur qu'aux pôles parce que La Terre est plus proche du Soleil à l'équateur qu'aux pôles ».

À partir des connaissances acquises et des informations issues des documents 3 et 4, rédiger un paragraphe argumenté permettant à la fois d'expliquer qu'il fait plus chaud à l'équateur qu'aux pôles et d'invalider l'hypothèse émise par cet élève.

La justification des arguments pourra s'appuyer sur des schémas explicatifs.

## QUESTION DE TYPE D

---

Un dernier type de questions peut vous être posé. Il s'agit d'une question ouverte sans document. Cette question, plus rare, nécessite de parfaitement connaître vos différents cours. Le notionnel est important mais il est vital lors de ce genre de question d'avoir une réponse organisée. La lisibilité de votre fil conducteur d'argumentation sera nécessaire.

Un plan précis doit apparaître avec différents paragraphes. Lors de ce genre de questions, il sera nécessaire de bien faire apparaître une introduction avec la problématique énoncées, une annonce du plan, des paragraphes correspondant à ce plan et une conclusion apportant une réponse ou justifiant à cette problématique.

Voici des exemples de questions possibles :

### Exemple 1

« A travers l'utilisation de la lunette de Galilée ou l'histoire de la datation de la Terre, justifier que le progrès technologique a permis d'améliorer le savoir scientifique ».

### Exemple 2

« A travers l'histoire de l'âge de la datation de la Terre et ses grandes controverses, montrer que les grandes questions scientifiques nécessitent la coopération entre plusieurs champs disciplinaires scientifiques.









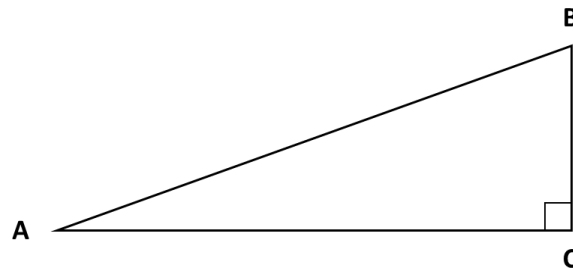
## RAPPELS MATHÉMATIQUES

---

### Trigonométrie dans un triangle.

Dans le cadre de ce chapitre, des notions de trigonométrie vont être utilisées et plus particulièrement la fonction sinus. Revoyons cette fonction.

Soit un triangle ABC rectangle en C. Le sinus de l'angle  $\widehat{BAC}$  est égal au rapport entre la longueur du côté opposé [BC] et la longueur de l'hypoténuse [AB]. Pour rappel, l'hypoténuse d'un triangle est le côté opposé à l'angle droit.



On peut donc en déduire une première formule

$$\sin \widehat{BAC} = \frac{\text{longueur de BC}}{\text{longueur de AB}}$$

A partir de cette formule, deux autres formules peuvent être déterminées.

La 1<sup>ère</sup> formule va permettre de calculer la longueur de BC :

$$\text{longueur de BC} = \text{longueur de AB} \times \sin \widehat{BAC}$$

La seconde formule va quant à elle, permettre de déterminer la longueur AB :

$$\text{longueur de AB} = \frac{\text{longueur de BC}}{\sin \widehat{BAC}}$$

### Détermination du périmètre d'un cercle

La circonférence d'un cercle est égale à la formule suivante :

$$P = 2 \times \pi \times \text{Rayon}$$

### Calcul de produit en croix

Un autre outil mathématique va être beaucoup utilisé dans ce chapitre. Il s'agit du produit en croix. Voici quelques petits rappels de son utilisation.

18	x
25	100

La détermination de x va se faire de la manière suivante :

$$x = \frac{100 \times 18}{25} = 72$$

### Calcul d'une incertitude

Incertitude d'une valeur x en pourcentage :  $\frac{x - \text{valeur moyenne}}{\text{valeur moyenne}} \times 100 = \dots \%$

### Repérage sur une sphère

On appelle coordonnées géographiques d'un point situé sur une sphère le couple (x;y) où x est la latitude et y la longitude. La latitude est toujours exprimée avant la longitude. Les notions de longitudes et latitudes seront réexpliquées dans le cours.

## RAPPELS SUR LE SYSTÈME SOLAIRE

---

Tous les rappels du système solaire se situent dans la vidéo suivante : « C'est pas sorcier – Le système solaire » de France Télévision.

### Résumé :

Des Canaries à Meudon, l'équipe de C'est pas sorcier nous fait voyager au cœur du système solaire, composé du Soleil et des corps célestes : 8 planètes, 165 satellites naturels connus, 5 planètes naines et les milliards de petits corps (astéroïdes, objets glacés, comètes, météoroïdes, poussière interplanétaire, etc.). Depuis l'envoi dans l'espace de sondes spatiales toujours plus performantes et notamment grâce aux fabuleuses images qu'elles retransmettent, on en sait maintenant beaucoup plus sur leurs compositions, leurs atmosphères, leurs histoires et même leurs satellites. Sabine et Jamy nous font découvrir tous les secrets que livre le système solaire.

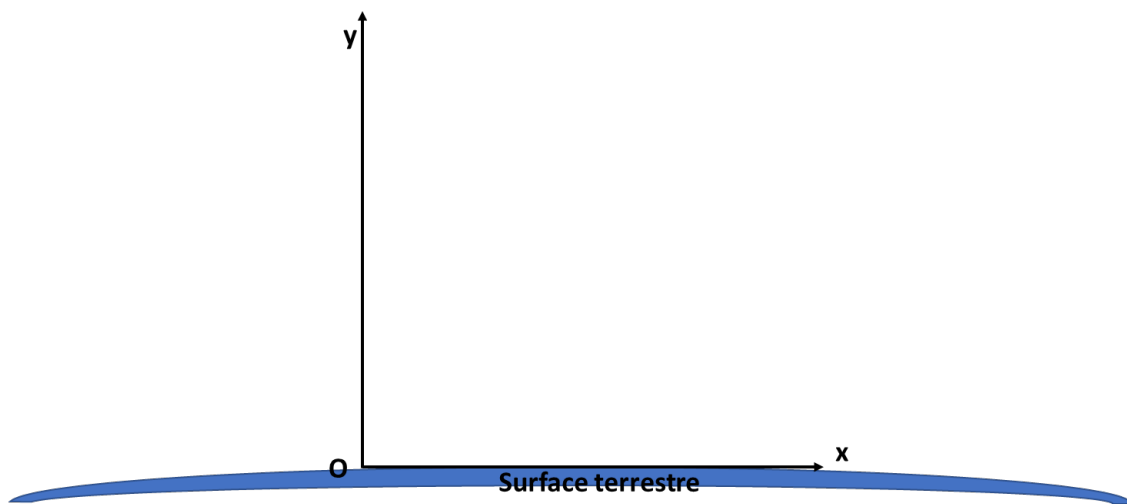
### Notions de référentiels

En physique, toutes trajectoires et vitesses d'un objet ayant une masse (un corps ou un astre par exemple) dépendent du point qui sert de référence. Un mouvement de voiture vu depuis un trottoir, un avion ou de la Lune sont différents.

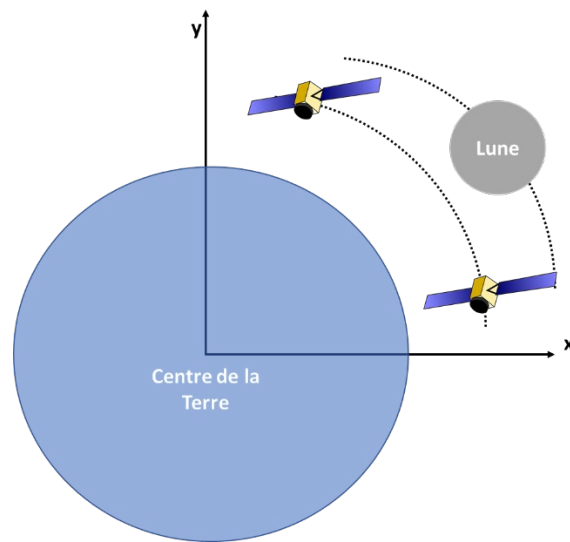
Avant d'étudier tout mouvement, il est nécessaire de le définir.

Il existe trois référentiels majeurs.

Le premier est le référentiel terrestre : il s'agit d'un référentiel prenant comme point de référence la surface de la Terre. C'est celui que nous utilisons de manière courante quand nous indiquons le mouvement d'un objet que nous observons (une voiture qui va vers la gauche ou vers la droite).

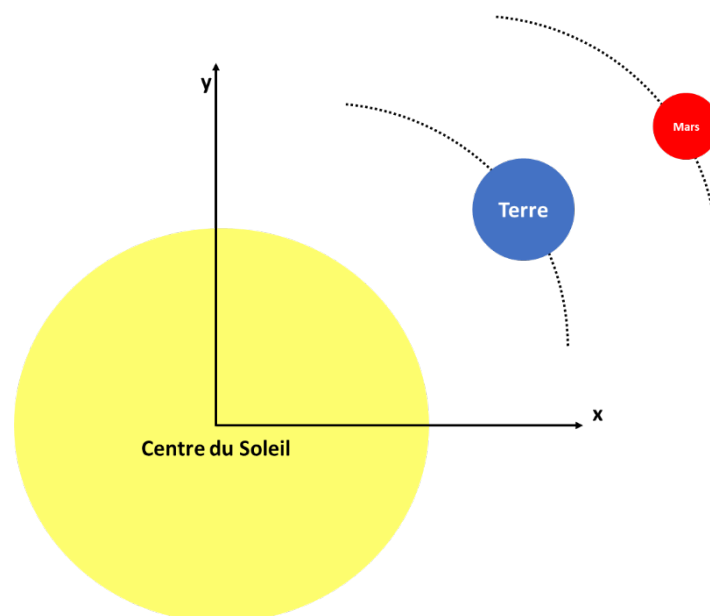


Le second référentiel est le référentiel géocentrique. Le centre de référence est le centre du noyau terrestre.



Ce référentiel est couramment utilisé pour définir le mouvement des satellites autour de la Terre, qu'ils soient naturels (la Lune) ou non.

Le dernier référentiel est le référentiel héliocentrique qui a pour point fixe, le centre du soleil. Ce référentiel est utilisé pour étudier le mouvement des planètes du système solaire.



## INTRODUCTION

---

**Aujourd'hui, la connaissance scientifique n'a jamais été aussi accessible. La science est vulgarisée, expliquée, transmise. Quasiment tous les jours, des spécialistes font le tour des plateaux TV afin d'expliquer et commenter tel ou tel phénomène scientifique. Et si jamais une interrogation se pose, des encyclopédies sont accessibles gratuitement sur internet. On peut même trouver des vidéos où l'essentiel des informations est expliqué.**



Cependant, cette science et ces connaissances n'ont jamais été autant remises en cause pendant ces dernières années... De nombreuses personnes pensent que nous ne sommes jamais allés sur la lune et que l'agence spatiale américaine (la NASA) a tout tourné en studio. De même, une étude en 2017 a montré qu'un français sur 10 pense que la Terre est plate (on parle de « platistes »). Cette théorie est encore plus populaire aux Etats-Unis (12 millions de personnes adhèrent à cette théorie) où des personnalités ont même lancé des cagnottes en ligne afin d'envoyer une fusée vérifier que la Terre n'est pas ronde.

Une autre théorie, plus mystique, est également très populaire sur Internet. Elle repose sur l'idée selon laquelle la Terre serait un disque posé sur le dos de quatre éléphants eux-mêmes transportés sur le dos d'une immense tortue. Cette dernière transporterait notre planète à travers l'univers.

### **Mais sur quoi reposent ces théories ?**

Selon les « platistes », la platitude de l'horizon exprime une contradiction entre la possibilité d'une Terre sphérique et un horizon que l'œil humain voit plat, sans courbure. La lune nous présente aussi toujours la même face... Du coup, pourquoi tournerait-elle autour de la Terre ?

Pourtant la science qui nous est enseignée, est issue de plus de 2000 ans d'études, de progrès techniques, de calculs. Depuis les toutes premières civilisations, l'Homme a voulu comprendre ce qui régit notre monde. Les plus grands savants ont cherché à démontrer des calculs mathématiques, des lois physiques et ont même expérimenté. L'âge et la forme de la Terre, mais aussi la composition de notre Univers, ont été démontrées en s'appuyant sur quasiment tous les domaines scientifiques comme la géologie, l'astrophysique, la physique nucléaire mais aussi les mathématiques...

Pour autant, bien que les progrès techniques aient justifié les observations et les calculs des scientifiques des siècles passés, l'histoire scientifique est aussi parsemée de débats entre scientifiques mais aussi de controverses entre scientifiques et religions.

Lors de ce module, nous allons nous pencher sur tout le chemin parcouru depuis la Grèce antique par les plus grands savants afin de déterminer la forme de la Terre. Ensuite, nous verrons en quoi la détermination de l'âge de la Terre a fait appel à quasiment tous les champs de compétences de la science. Enfin nous terminerons par l'étude de la place de la Terre en revenant sur la controverse autour de Galilée et l'héliocentrisme.

Nous mettrons en avant ici plus de 2000 ans de recherches, de débats, de découvertes, d'erreurs dans des domaines comme l'astrophysique, la physique, la biologie, la géologie et les mathématiques.

# CHAPITRE 1

## LA FORME DE LA TERRE



Aujourd'hui, nous savons que la Terre est ronde... Il s'agit même d'une évidence. Une évidence qui pourtant est le fruit d'une longue histoire de près de 2600 ans. On pense en effet à tort que la découverte de la forme sphérique de la Terre est due à Christophe Collomb ou à Galilée. Une grossière erreur... De nombreux philosophes, puis scientifiques depuis la Grèce antique se sont penchés sur la question comme nous allons le voir dans ce chapitre.

Nous verrons tout d'abord l'histoire de la forme de la Terre vue selon les Hommes depuis l'Antiquité puis nous nous intéresserons à l'explication physique de la forme de la Terre et enfin nous étudierons la manière dont peut être déterminée le rayon de la Terre.

### Q COMPÉTENCES VISÉES

- Débattre de la forme Terre et plus particulièrement revoir les raisonnements qui ont amené à connaître sa forme sphérique.
- Etudier le raisonnement d'Eratosthène pour retrouver la valeur du périmètre de la Terre.
- Déterminer une longueur par la triangulation.
- Se repérer sur Terre à partir du système de longitudes et latitudes.
- Identifier le chemin le plus court entre deux points du globe.
- Savoir déterminer la longueur d'un arc de parallèle ou de méridien.



## Première approche

# La première mesure du rayon de la Terre



**Eratosthène de Cyrène, était à la fois astronome, philosophe et mathématicien, comme de nombreux savants à l'époque de la Grèce antique.**

Il participa à la détermination des nombres premiers, fit un catalogue de plus de 675 étoiles et fut l'un des premiers à faire l'hypothèse que la Terre est sphérique et à évaluer le périmètre de la Terre.

Il fut nommé à la tête de la bibliothèque d'Alexandrie à la suite de la demande du pharaon Ptolémée III et fut le professeur du fils du pharaon.

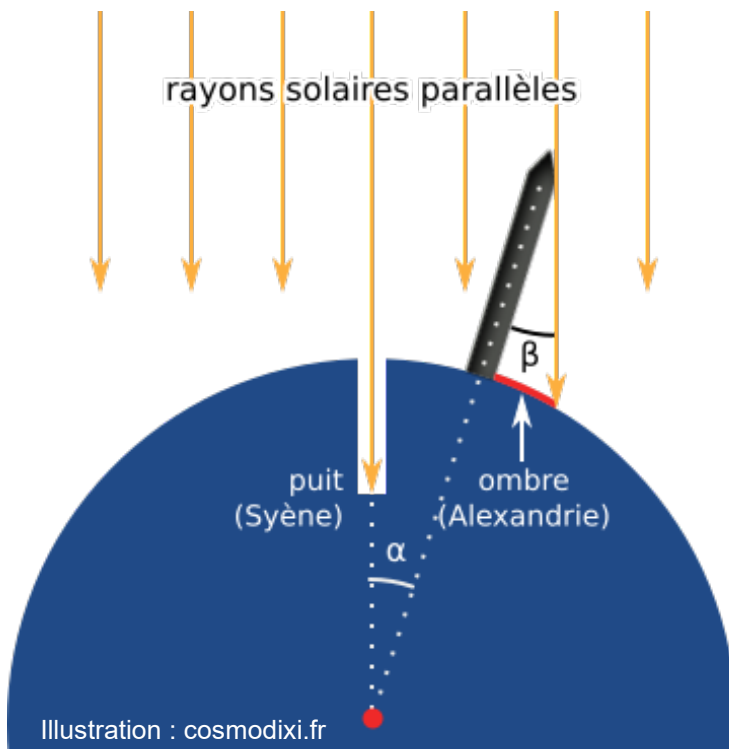
En 205 avant Jésus-Christ, il proposa une méthode purement théorique pour mesurer la taille de la Terre.

Il observa que les ombres n'étaient pas les mêmes suivant l'endroit où l'on se trouvait. Il compara notamment des ombres le jour du solstice d'été dans deux villes : Syène au sud et Alexandrie au nord.

Voici ses observations :

- A Syène, à midi, le soleil est au zénith. Cela signifie que les objets n'ont pas d'ombre. Eratosthène observa que les rayons du Soleil atteignent verticalement le fond d'un puit.
- Ce phénomène n'avait pas lieu à Alexandrie situé plus au nord. Il mesura donc l'ombre portée d'un bâton (appelé « gnomon ») à Alexandrie le jour d'un solstice.
- Il mesura que l'angle entre le bâton et la direction des rayons du Soleil et trouva qu'il mesurait 1/50ème de cercle.
- Une rapide mesure de la distance entre Alexandrie et Syène à l'époque fut faite et la valeur de 5 000 stades fut déterminée. (La longueur d'un stade est estimée à 157,5 mètres).

Voici une représentation graphique de la situation qui servira de base pour la suite de l'activité :





## RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

D'après des recherches et les documents présentés précédemment, répondez à ces questions.

Questions théoriques.

- Pourquoi le soleil est-il au zénith à Sienne à midi lors du solstice d'été alors qu'il ne l'est pas à Alexandrie ?

.....

.....

.....

- Eratosthène fit l'hypothèse que Syène et Alexandrie sont sur le même méridien. Qu'est-ce qu'un méridien selon vos recherches ?

.....

.....

.....

- Eratosthène considère que les rayons du soleil sont parallèles les uns aux autres. Est-ce une réalité ou une approximation ?

.....

.....

- En cas d'approximation, calculez l'angle entre les rayons (la distance Terre-Soleil est de 150 millions de kilomètres et la distance entre Syène et Alexandrie est aujourd'hui déterminée à 800km).

.....

.....

.....

.....

.....

Questions pratiques.

- Quelle est la distance en kilomètres entre Alexandrie et Syène d'après les calculs d'Eratosthène ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....



- La trigonométrie n'existant encore pas, l'angle  $\alpha$  est déterminé en fraction de cercle. La valeur déterminée par Eratosthène est de 1/50ème de cercle. Quelle est la valeur de l'angle en degrés ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Déterminez la valeur du périmètre de la Terre d'après les calculs d'Eratosthène ?  
On sait que  $7,2^\circ$  correspond à 787,5km. Par produit en croix, on va chercher à savoir la distance pour  $360^\circ$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Recherchez la mesure précise du périmètre de la Terre, déterminée par satellite. Calculez le pourcentage d'erreur d'Eratosthène et commentez.

---

---

---

---

---

---

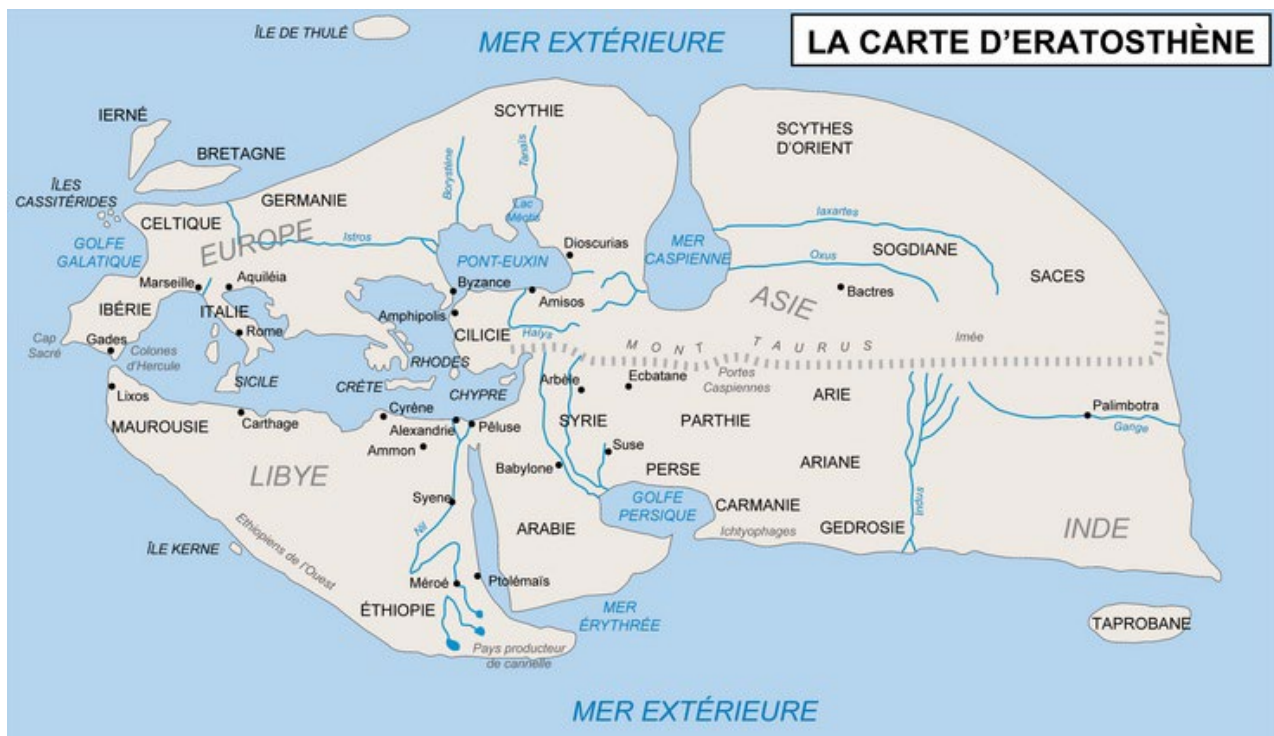
---

---

---

---

Les études d'Eratosthène portaient aussi sur la géographie : la répartition des océans et des continents, les vents, les zones climatiques et les altitudes des montagnes. On lui attribue le terme *géographie*. Il laissa une carte générale de l'écoumène (partie connue de la terre habitée) qui fut longtemps l'unique base de la géographie.



1) D'après vos recherches, pourquoi le soleil est-il au zénith à Siène à midi lors du solstice d'été alors qu'il ne l'est pas à Alexandrie ?

**Siène est proche du tropique du Cancer contrairement à Alexandrie qui est beaucoup plus au nord.**

2) Eratosthène fit l'hypothèse que Syène et Alexandrie sont sur le même méridien. Qu'est-ce qu'un méridien selon vos recherches ?

**Un méridien est un grand cercle imaginaire tracé sur la sphère terrestre, passant par les pôles.**

Est-ce vrai ?

**Non c'est faux, il s'agit d'une approximation, d'une erreur d'Eratosthène.**

3) Eratosthène considère que les rayons du soleil sont parallèles les uns aux autres. Est-ce une réalité ou une approximation ?

**Il s'agit d'une approximation. Cela revient à supposer que le Soleil est situé suffisamment loin de la Terre pour négliger les variations d'angle entre les rayons.**

En cas d'approximation, calculez l'angle entre les rayons (la distance Terre-Soleil est de 150 millions de kilomètres et la distance entre Syène et Alexandrie est aujourd'hui déterminée à 800km).

$$\frac{800}{150\,000\,000} = \frac{?}{100} \Rightarrow ? = \frac{800 \times 100}{150\,000\,000} = 0,00053 \%. \text{ Il s'agit bien d'une valeur négligeable.}$$

4) Quelle est la distance en kilomètres entre Alexandrie et Syène d'après les calculs d'Eratosthène ?

**Pour mesurer les distances, Eratosthène avança qu'un chameau met environ 50 jours pour aller d'Alexandrie à Syène, et qu'en un jour il parcourt une distance de 100 stades (le stade étant l'unité de distance en vigueur à ce moment-là). La distance entre les deux villes est donc d'environ 5000 stades. Chez les Egyptiens, le stade valait 157.5 mètres.  $5000 \times 157,5 = 787\,500\text{m}$  soit  $787,5\text{km}$ .**

5) La trigonométrie n'existant encore pas, l'angle  $\alpha$  est déterminé en fraction de cercle. La valeur déterminée par Eratosthène est de 1/50ème de cercle. Quelle est la valeur de l'angle en degrés ?

$$1 \text{ tour de cercle} = 360^\circ \cdot \frac{360}{50} = 7,2^\circ.$$

6) Déterminez la valeur du périmètre de la Terre d'après les calculs d'Eratosthène ?

On sait que  $7,2^\circ$  correspond à  $787,5\text{km}$ . Par produit en croix, on va chercher à savoir la distance pour  $360^\circ$ .

$$\frac{787,5}{7,2} = \frac{?}{360} \Rightarrow ? = \frac{360 \times 787,5}{7,2} = 39\,375 \text{ km}$$

7) Recherchez la mesure précise du périmètre de la Terre, déterminée par satellite. Calculez le pourcentage d'erreurs d'Eratosthène et commentez.

**Les dernières mesures par satellites indiquent un périmètre de 40 075 km.**

$$\text{Pourcentage d'erreur : } \frac{40\,075 - 39\,375}{40\,075} \times 100 = 1,75\%.$$

**Il s'agit d'une mesure très précise selon les standards de l'époque antique.**



# LA FORME DE LA TERRE

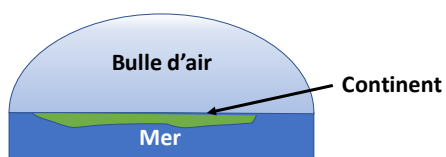
## Une longue histoire

### LES GRECS... DES PRECURSEURS DANS LA DETERMINATION DE LA FORME DE LA TERRE.

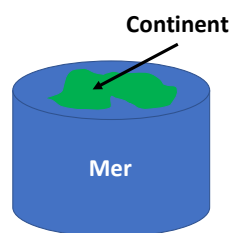
Au VI<sup>ème</sup> siècle avant notre ère, la question de la forme de la Terre occupe la pensée des philosophes de l'époque. Le philosophe et mathématicien Thalès (-610 ; -546 avant J.C) pense que la Terre a la forme d'un disque flottant sur une étendue d'eau et que l'espace est une bulle d'air au-dessus de la Terre. Les tremblements de Terre seraient même dus aux mouvements de l'eau. Mais une question se pose. Si la Terre flotte sur l'eau, sur quoi cette dernière repose-t-elle ?

C'est Anaximandre (- 610 ; - 546 avant J.C.), un disciple de Thalès, qui affina ce raisonnement. La Terre serait la partie plane d'un cylindre (la notion de courbure apparaît) qui flotte au milieu d'un univers infini.

**Vision de Thalès**



**Vision d'Anaximandre**



Dans ces raisonnements, il n'y a pas d'observation. Ces visions étaient plutôt issues de l'imagination de grands scientifiques.



### RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Selon vous, si on observe une éclipse de Lune, quelle devrait être la forme de l'ombre de la Terre sur la Lune ?

Vision de Thalès	Vision d'Anaximandre

Ces projections correspondent-elles aux éclipses de Lune comme nous les connaissons ?

.....

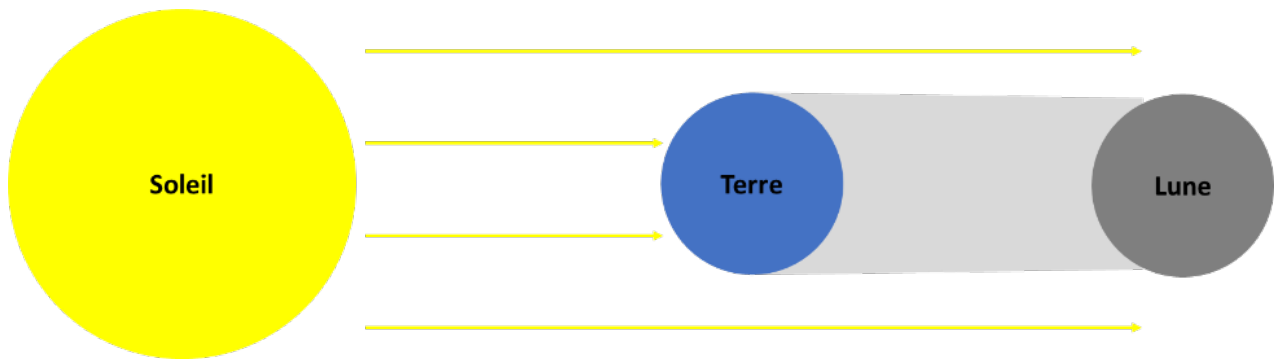
.....

.....

.....

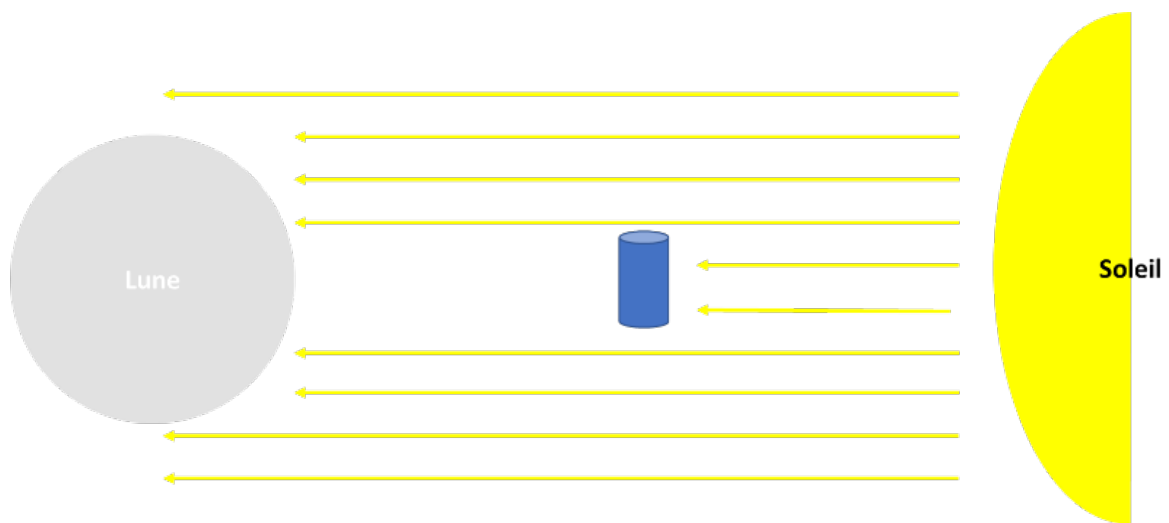
.....

Lors d'une éclipse de Lune, la Lune, la Terre et le Soleil sont alignés de telle manière que l'ombre de la Terre soit projetée sur la Lune comme le montre le schéma suivant :

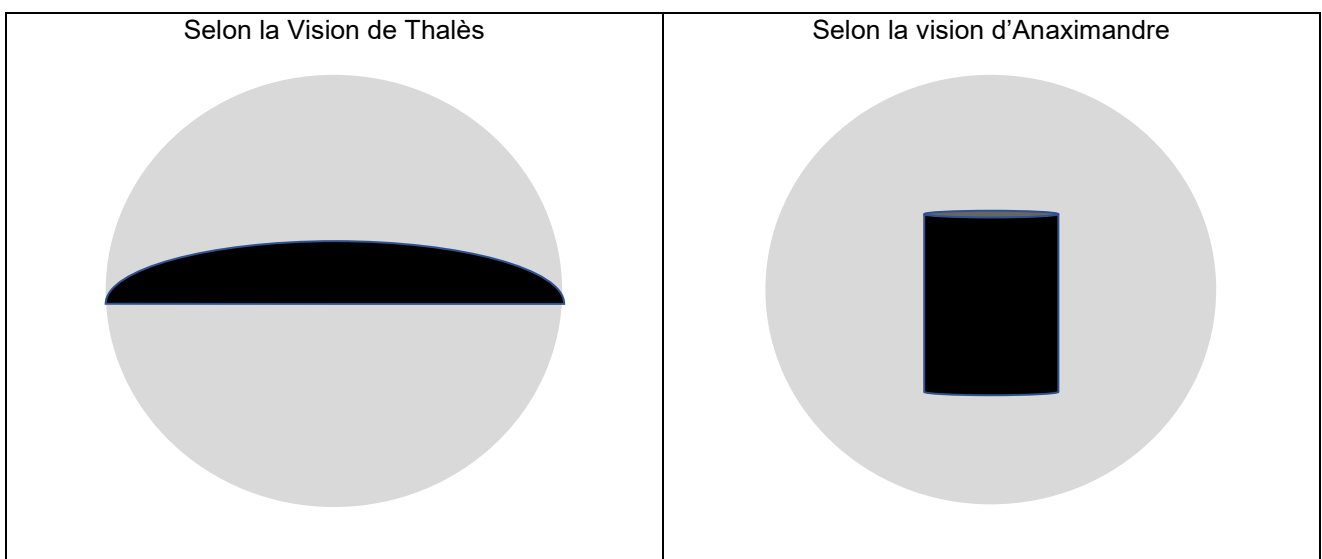


Il est donc nécessaire pour répondre à la question de se demander quelle serait la forme de la Terre projetée sur la Lune.

Prenons par exemple la vision d'Anaximandre, le schéma correspondrait au suivant :



Les ombres devraient donc avoir les formes suivantes :



Ces projections sont bien évidemment loin des images d'éclipses que nous pouvons apercevoir où nous voyons bien une forme courbée projetée sur la Lune.

Cette courbure est un argument en faveur d'une Terre ronde.



## JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Justifiez par les expériences précédentes que le savoir scientifique est issu de l'observation.

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

Avant de pouvoir envoyer des satellites en orbite pour observer la Terre, l'unique moyen d'étudier sa forme a été l'observation des éclipses. Leurs études ont mis en avant une sphéricité de la Terre. **L'observation a donc été le premier moyen d'améliorer le savoir scientifique.**

D'autres philosophes approfondirent l'étude de la forme de la Terre sans pour autant avoir d'arguments scientifiques valables : Pythagore (- 570 ; - 480 avant J.C) pense que la Terre est ronde puisque la sphère est la seule forme mathématique de symétrie parfaite et qu'il ne peut pas en être différent puisque l'Univers serait selon lui une harmonie parfaite d'un point de vue mathématique.

Pourtant Parménide d'Elée (-590 ; -450 av JC) a cherché à utiliser l'observation de phénomènes pour expliquer une potentielle courbure de la Terre. Il a basé ses observations sur un voilier qui s'éloigne au loin.



## RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Selon vous, quelle est la potentielle observation que peut faire Parménide d'Elée avec un bateau qui s'éloigne au loin pour montrer la courbure de la Terre ?

.....

.....

.....

.....

.....

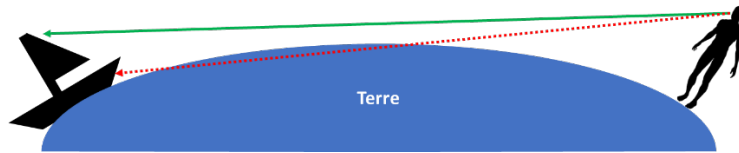
.....

Faites un schéma.

Si la Terre est ronde, elle a donc une courbure. Cela signifie qu'un bateau qui s'éloigne va avoir tendance à descendre petit à petit.

En observant un voilier (ou plutôt une galère à l'époque), Parménide d'Elée remarqua que la proue du bateau (c'est-à-dire la coque à l'avant) avait tendance à disparaître en premier puis le mat en dernier.

Voici le schéma explicatif.

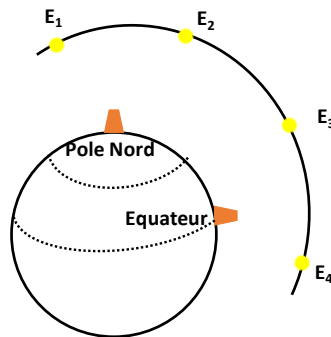


Cependant, cette disparition ou apparition d'un bateau reste difficile à observer. C'est alors qu'Aristote apporta enfin (384 - 322 av. J.-C.) des arguments factuels au raisonnement philosophique. Il remarqua que selon la latitude où il se situe, la position des étoiles changeaient dans le ciel.



## RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

Prenons un globe terrestre et imaginons que nous observons des étoiles ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  et  $E_4$ ) depuis le Pôle Nord et l'équateur.



1) Du Pôle Nord, quelles sont les étoiles visibles et non-visibles ?

.....

.....

2) De l'équateur, quelles sont les étoiles visibles et non-visibles ?

.....

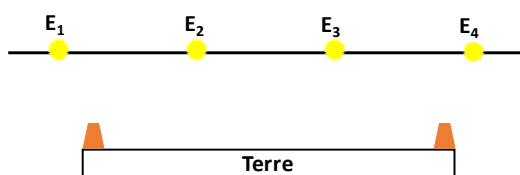
.....

.....

3) Que pouvons-nous en déduire ?

.....

.....

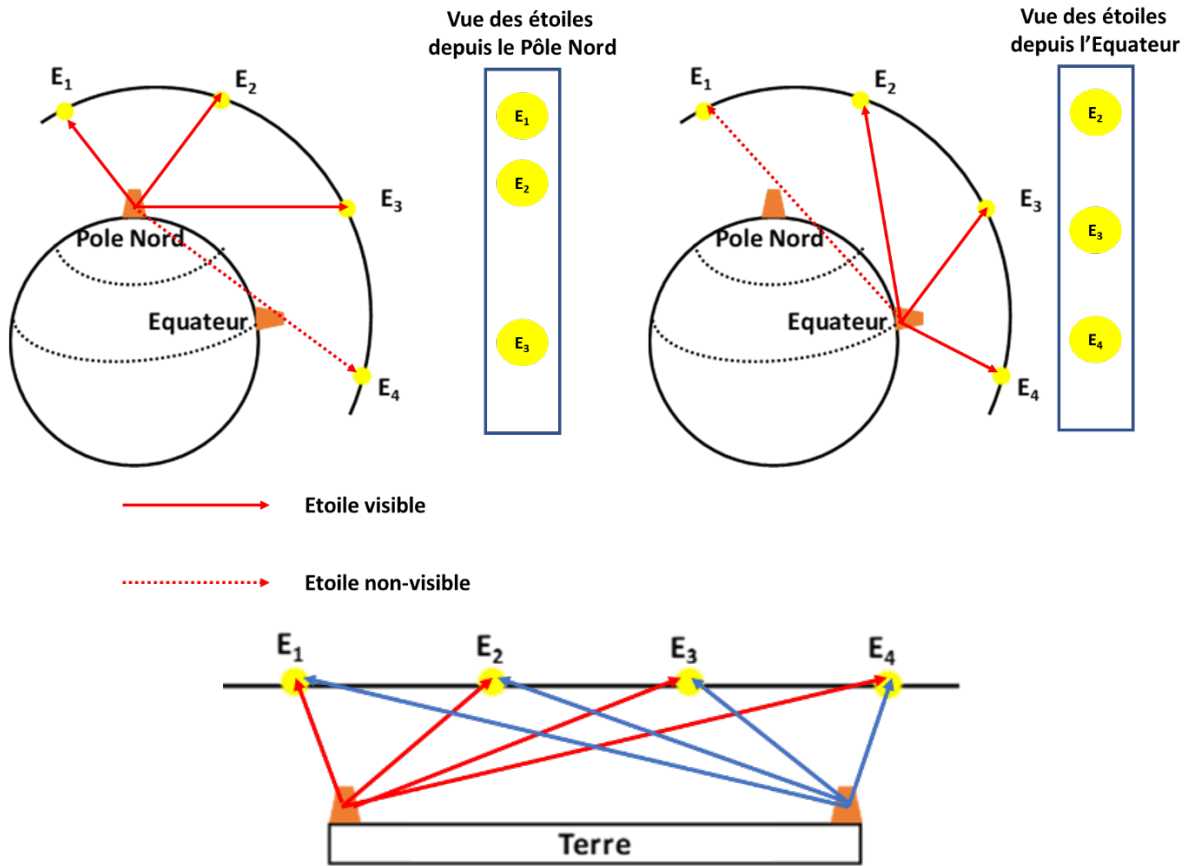


4) Maintenant imaginons que la Terre soit plate. Est-il possible que des étoiles disparaissent en fonction de la position d'observation ?

.....

.....

Éléments de correction



Toutes les étoiles sont visibles, elles ne disparaissent pas du champ de vision si la Terre est plate.

Nous pouvons en déduire que du Pôle Nord, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub> sont visibles et E<sub>4</sub> non visible. Depuis l'équateur, ce sont E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub> et E<sub>4</sub> qui sont visibles et E<sub>1</sub> non visible.

Nous pouvons remarquer que dans le cas d'une sphère, toutes les étoiles ne sont pas visibles d'un même point depuis une sphère et que leurs positions dans le ciel changent (E<sub>3</sub> se situe à l'horizon pour le Pôle Nord mais au plein ventre du ciel pour l'équateur).

Cependant, cette observation n'est pas vraie pour une terre plate. Les étoiles seraient visibles, quelle que soit la position sur la Terre. Cette observation va dans le sens d'une Terre ronde.

Si la Terre était plate, les étoiles ne disparaîtraient pas et seraient visibles quel que soit le point de la Terre. Or cette affirmation va à l'encontre des éléments que l'on peut voir aujourd'hui et dont se sont rendus compte les premiers astronomes. Certaines étoiles disparaissent au-delà de l'horizon en fonction du lieu où nous nous situons.



**JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES**

Listez les trois méthodes visuelles montrant la sphéricité de notre planète.

.....

.....

.....



Il y a donc 3 méthodes d'observation qui ont permis d'avancer la sphéricité de la Terre.

- L'étude des éclipses lunaires.
- L'étude de la disparition et de l'apparition du bateau à l'horizon.
- La position des étoiles dans le ciel.

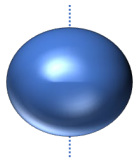
Cependant quand les scientifiques parlent de la forme de la Terre, le concept de géodésie apparaît. Mais que signifie-t-il ?

### LES XVII<sup>ème</sup> ET XVIII<sup>ème</sup> SIECLES ET LE DEBUT DE LA GEODESIE MODERNE : CASSINI VERSUS NEWTON

Si l'idée d'une Terre sphérique est très ancienne, celle d'une sphère imparfaite est beaucoup plus récente. Cette science qui étudie la forme et les dimensions de la Terre est la géodésie.

Descartes (1596 - 1650) posa la question pour la première fois en proposant que la rotation de la Terre sur elle-même devait lui donner une forme allongée suivant l'axe des pôles, hypothèse qui fut appuyée par Cassini.

A la même époque, Isaac Newton (1642 - 1724), avança l'hypothèse contraire : la Terre était de la forme d'un ellipsoïde (une sorte d'ellipse) aplati aux pôles. Les recherches postérieures validèrent l'hypothèse de Newton, le diamètre de la Terre au niveau des pôles étant environ 40 kilomètres plus petit que celui au niveau de l'équateur.



Hypothèse de Newton



Hypothèse de Cassini



## LA FORME DE LA TERRE

### Une explication physique

Tout objet ayant une masse émet une force dans toutes les directions : la force gravitationnelle. Cette gravitation est une force attractive, à longue portée et de faible amplitude et qui fait que tous les corps de l'univers s'attirent mutuellement. Cette loi fut démontrée par Isaac Newton en 1684.

$$\vec{F} = G \frac{M \times m}{d^2} \vec{u}$$

Avec F la force gravitationnelle en Newton, les masses M et m en kilogrammes et d la distance Terre-objet en kilomètres.

Or si une masse attire les autres masses, alors la Terre devrait attirer les objets vers l'endroit où la plupart de sa masse est concentrée (autrement dit la plus importante), c'est-à-dire vers son centre.

Une particule en surface est donc attirée par une importante quantité de particules situées sous elle et plus exactement vers l'endroit entouré d'autant de matière dans toutes les directions : le centre de gravité de la Terre.

La Terre s'est en fait formée par effondrement gravitationnel d'un nuage de matière primitive puis par accréation (une sorte d'agglomération) afin de former une sphère. Cette forme sphérique est une conséquence de l'attraction gravitationnelle.

Mais comment cela se fait-il que la Terre soit légèrement aplatie au niveau des pôles et non une sphère parfaite ?

Tout simplement parce que la Terre tourne sur elle-même et que cette rotation totale en 24 heures, dite diurne, implique des vitesses en surface qui peuvent atteindre le millier de kilomètres par heure. Ces vitesses, que nous ne ressentons pas puisque nous sommes nous-même en surface donc en mouvement entraînent l'existence d'effets centrifuges. Au niveau de l'équateur, la matière est poussée vers l'extérieur de la planète, ce qui provoque un diamètre légèrement plus grand à ce niveau-là.



## UN PEU DE CALCULS

Déterminons la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même :

Sachant que  $v = \frac{d}{t}$ , calculons tout d'abord la distance parcourue par un point sur l'équateur dont le rayon est précisément 6378 km.

- 1) Quelle formule doit-on appliquer pour déterminer la distance parcourue sur un point de la Terre. ? Ne pas oublier que nous sommes à la surface de la Terre et que celle-ci tourne sur elle-même.
- 2) Appliquons cette formule et calculons le périmètre de la Terre ?
- 3) Déterminons la vitesse à laquelle tourne un point de la Terre sur l'équateur en km/h.

La Terre est une sphère. Il est donc possible de calculer son périmètre au niveau de l'équateur à partir du rayon de la Terre. C'est la distance qui sera parcourue par une personne immobile au niveau de l'équateur en 24 heures.

La formule pour calculer le périmètre d'un cercle est (réponse à la question 1) :

$$P = 2 \times \pi \times R_{\text{Terre}}$$

Dans notre cas (question 2), le périmètre de la Terre est :

$$P = 2 \times \pi \times 6378 = 40\,074\text{km}$$

Une fois la distance parcourue par une personne en un jour, il est possible de déterminer la vitesse en partant du fait que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures.

$$v = \frac{P}{t} = \frac{40\,074}{24} = 1\,670 \text{ km/h}$$

## UN PEU DE CALCULS

Calculez la vitesse de rotation de la Lune sachant que son diamètre est de 3475km et que sa période de rotation est de 27 jours et 8 heures.

Le résultat doit être en kilomètre/heure.

Il s'agit d'appliquer le même raisonnement que ce que nous avons vu ensemble précédemment. Le calcul sera alors :



$$v = \frac{P}{t} = \frac{2 \times \pi \times 3475}{27 \times 24 + 8} = 33,3 \text{ km/h}$$



### L'ESSENTIEL

La forme de la Terre, légèrement aplatie autour des pôles est due à la rotation de la Terre sur elle-même.

Bien qu'immobile dans le référentiel terrestre (c'est-à-dire sur Terre), une personne bouge à près de 1700 km/h autour de l'axe entre les pôles



## JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Qu'est-ce que la géodésie ? Expliquez la spécificité de la forme de la Terre et son origine.

Area with horizontal dashed lines for writing the answer.

La géodésie est la science qui étudie la forme et les dimensions de la Terre. Cette science a montré que la Terre était légèrement plus aplatie au niveau des pôles qu'au niveau de l'équateur. Cette différence provient du mouvement de la Terre sur elle-même.

Jusqu'à la révolution française, il existait près de 250 unités de poids et de longueur (le pied, le point, le pouce...). Certaines différaient d'une région à une autre et il arrivait qu'une tierce personne soit nécessaire afin de calculer les quantités lors de transactions commerciales.

Il fut donc décidé lors de la révolution française de déterminer un système de mesure universel et deux scientifiques de renom s'y penchèrent : Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre.

### MAIS POURQUOI CHERCHER A DETERMINER UNE UNITE DU SYSTEME INTERNATIONAL COMME LE METRE ?

#### UN PEU D'HISTOIRE

Une anecdote qui coûte cher !!



En 1999, la NASA lança la sonde Mars Climate Orbiter afin d'étudier l'atmosphère martienne. La sonde après 11 mois de vol, devait se placer en orbite de la « planète rouge » à 150 kilomètres d'altitude. Malheureusement, la sonde fonça dans l'atmosphère et se désintégra sous l'effet de la chaleur à 57 kilomètres d'altitude...

Mais quelle est la raison de la perte de cette sonde de 200 millions de dollars alors que la mise en orbite d'une sonde est une opération maîtrisée depuis longtemps par la plus grande agence spatiale ?

Tout simplement, parce qu'une des entreprises qui a participé au projet a tout simplement fait ses calculs en miles (l'unité de longueur américaine) et non en mètres... Et personne n'a pensé à convertir !

Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre mesurèrent avec précision la longueur d'une portion de méridien en toises. Le choix s'est porté sur le méridien passant par la capitale française et la mesure fut prévue entre Dunkerque et Barcelone.

Dunkerque et Barcelone étant situées à la même longitude, Delambre et Méchain se basèrent sur un système de triangulation plane et s'appuyèrent pour le calcul sur le résultat de trigonométrie classique : deux angles et une longueur permettent de déterminer les longueurs de tous les côtés d'un triangle ainsi que ceux de ses angles).

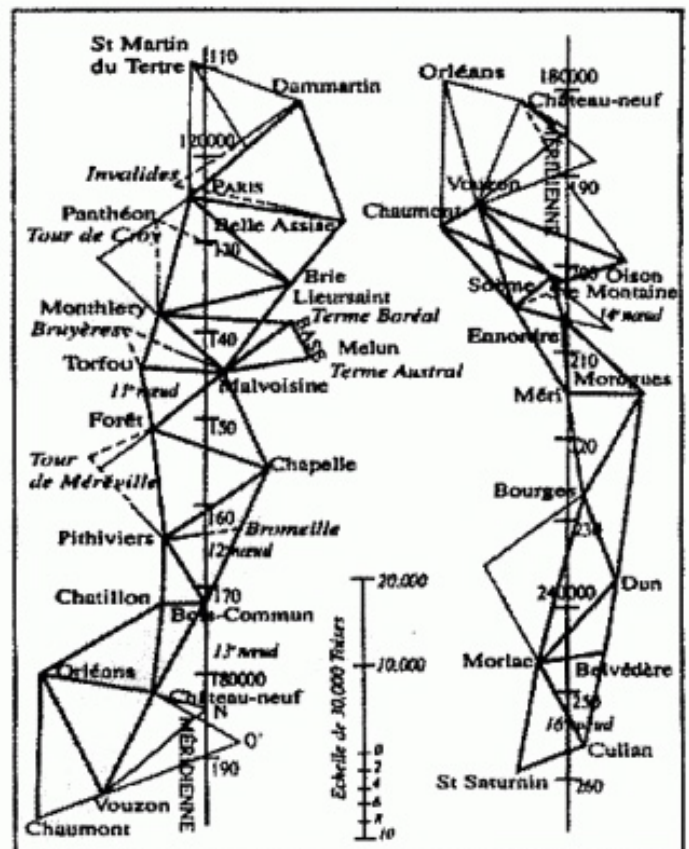
La triangulation s'appuie ainsi de manière quasi exclusive sur des mesures d'angles :

- mesure des angles de chacun des triangles à l'aide d'instruments d'une précision inconnue jusqu'alors (cercle répétiteur de Borda notamment).
- mesure des angles formés par les côtés des triangles avec la direction du méridien (direction Nord-Sud).

Une unique mesure de longueur fut effectuée sur le terrain avec des règles plates : celle de la base située à Melun. Une seconde mesure fut faite à Perpignan pour vérification.

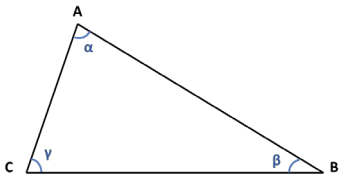
Une fois la longueur de l'arc connue, son amplitude fut déterminée par un calcul astronomique pour connaître la longueur du quart du méridien.

Les dix millièmes parties de cette longueur est le mètre.



Mais quelle est la loi mathématique qui leur a permis de réussir cette grande aventure ?

Il s'agit de la loi des sinus.



Soient  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  les mesures des trois angles.  
La loi des sinus dans ce triangle ABC est :

$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AC}{\sin \beta}$$

De même, la somme des angles dans un triangle est égale à  $180^\circ$ .

Mais quelle méthode doit-on utiliser pour parvenir à déterminer la longueur entre deux points ?

La technique de triangulation nécessite la mesure directe que d'une seule distance, et de plusieurs angles à partir de différents points d'observation.

Dans un premier temps, il faut mesurer :

- Une seule longueur AB
- Les angles  $\alpha$  et  $\beta$  en visant un point C depuis les points A et B.

Il est possible de calculer un troisième angle :  $\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$ .

Par la suite, il est possible de déterminer les mesures des deux autres côtés :

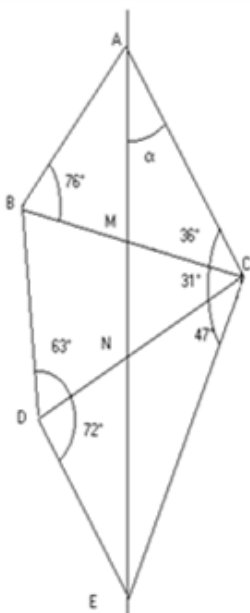
$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{BC}{\sin \alpha} \Rightarrow BC = \frac{AB \times \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{AC}{\sin \beta} \Rightarrow AC = \frac{AB \times \sin \beta}{\sin \gamma}$$



## UN PEU DE CALCULS

Et si nous devenions nous-même Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre et que nous faisons de la triangulation plane. Le but de cet exercice est de calculer la distance AE. Pour cela, on a « enfermé » le segment correspondant dans une chaîne de trois triangles. On a réalisé les mesures angulaires portées sur le schéma ci-contre. On dispose d'une unique distance, AC et on a  $AC = 250$  m. L'angle  $\alpha$  a pour mesure  $27^\circ$ .



1. Calculez les distances AM et MC.
2. Calculez les distances MN et NE.
3. En déduire la distance AE.

1) Calcul de AM et de MC.

**Calcul de AM :** Il est nécessaire de déterminer la valeur de l'angle  $\widehat{AMC}$ . Dans un triangle, la somme des angles est égale à  $180^\circ$ .

$$\begin{aligned}\widehat{AMC} + \widehat{ACM} + \widehat{MAC} &= 180^\circ \\ \Rightarrow \widehat{AMC} &= 180 - (\widehat{ACM} + \widehat{MAC}) \\ &= 180 - (36 + 27) \\ &= 117^\circ\end{aligned}$$

D'après la loi des sinus :

$$\frac{MC}{\sin \alpha} = \frac{AM}{\sin \widehat{ACM}} = \frac{AC}{\sin \widehat{AMC}}$$

$$\frac{AM}{\sin 36} = \frac{250}{\sin 117}$$

$$AM = \frac{250 \times \sin 36}{\sin 117}$$

$$\mathbf{AM = 164,9 \text{ m}}$$

**Calcul de MC :** D'après la loi des sinus :

$$\frac{MC}{\sin \alpha} = \frac{AM}{\sin \widehat{ACM}}$$

$$\frac{MC}{\sin 27} = \frac{164,9}{\sin 36}$$

$$MC = \frac{164,9 \times \sin 27}{\sin 36}$$

$$\mathbf{MC = 127,4 \text{ m}}$$

2) Calcul de MN et NE

**Calcul de MN :** Il est nécessaire de déterminer la valeur de l'angle  $\widehat{CMN}$ . Les points A, M et N sont alignés. L'angle  $\widehat{AMN}$  est un angle plat donc de valeur  $180^\circ$ .

$$\begin{aligned}\widehat{AMN} &= \widehat{AMC} + \widehat{CMN} \\ \widehat{CMN} &= \widehat{AMN} - \widehat{AMC} \\ \widehat{CMN} &= 180 - 117 \\ \widehat{CMN} &= 63^\circ\end{aligned}$$

Calculons ensuite la valeur de l'angle  $\widehat{MNC}$ .

$$\begin{aligned}\Rightarrow \widehat{MNC} &= 180 - (\widehat{MCN} + \widehat{CMN}) \\ &= 180 - (31 + 63) \\ &= 86^\circ\end{aligned}$$

D'après la loi des sinus :

$$\frac{MN}{\sin \widehat{MCN}} = \frac{MC}{\sin \widehat{MNC}}$$

$$\frac{MN}{\sin 31} = \frac{127,4}{\sin 86}$$

$$MN = \frac{127,4 \times \sin 31}{\sin 86}$$

$$\mathbf{MN = 65,8 \text{ m}}$$

**Calcul de NE** : pour calculer la longueur NE, il est nécessaire de déterminer les angles de  $\widehat{MNC}$  mais aussi la longueur de NC.

$\widehat{MNC}$  vaut  $86^\circ$ , comme nous l'avons déjà calculé.

D'après la loi des sinus :

$$\begin{aligned}\frac{NC}{\sin \widehat{NMC}} &= \frac{MN}{\sin \widehat{NCM}} \\ \frac{NC}{\sin 63} &= \frac{65,8}{\sin 31} \\ NC &= \frac{65,8 \times \sin 63}{\sin 31} = 113,8 \text{ m}\end{aligned}$$

Déterminons la valeur de l'angle de  $\widehat{CNE}$ .

Les points M, N et E sont alignés donc l'angle  $\widehat{MNE}$  vaut  $180^\circ$ .

$$\begin{aligned}\widehat{MNE} &= \widehat{CNE} + \widehat{MNC} \\ \widehat{CNE} &= \widehat{MNE} - \widehat{MNC} \\ \widehat{CMN} &= 180 - 86 \\ \widehat{CMN} &= 94^\circ\end{aligned}$$

Déterminons l'angle  $\widehat{NEC}$ .

Dans un triangle, la somme des angles est égale à  $180^\circ$ .

$$\begin{aligned}\widehat{NEC} + \widehat{ENC} + \widehat{NME} &= 180^\circ \\ \Rightarrow \widehat{NEC} &= 180 - (\widehat{CNE} + \widehat{NCE}) \\ &= 180 - (94 + 47) \\ &= 39^\circ\end{aligned}$$

D'après la loi des sinus, nous pouvons calculer NE :

$$\begin{aligned}\frac{NC}{\sin \widehat{NEC}} &= \frac{NE}{\sin \widehat{NCE}} \\ \frac{113,8}{\sin 39} &= \frac{NE}{\sin 47} \\ NE &= \frac{113,8 \times \sin 47}{\sin 39}\end{aligned}$$

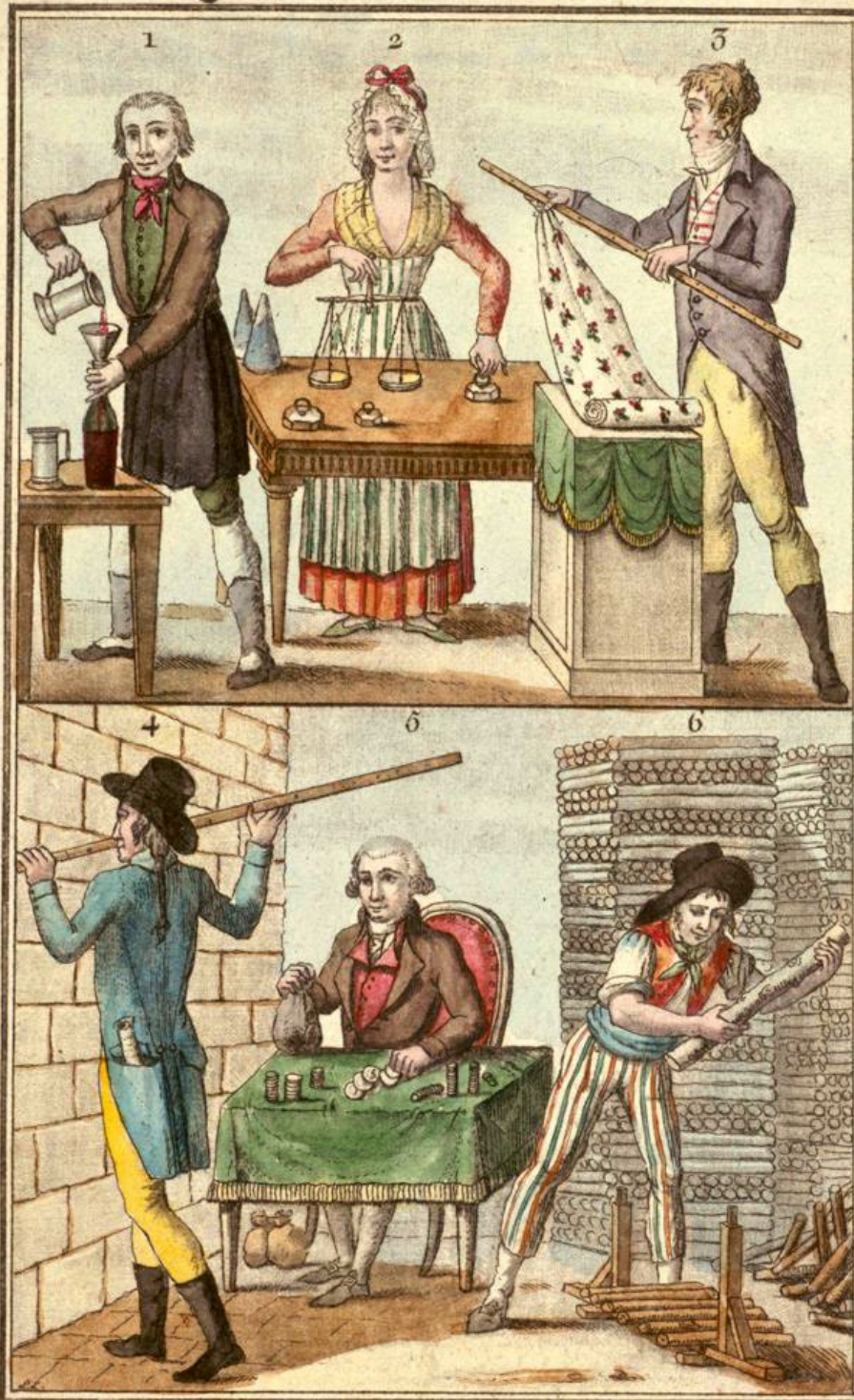
$$\mathbf{NE = 132,2 \text{ m}}$$

### 3) Détermination de AE.

Or  $AE = AM + MN + NE = 164,9 + 65,8 + 132,2 = \mathbf{362,9 \text{ m}}$



# Usage des Nouvelles Mesures.



J.P. Delion G.... inv.

Labrousse Sculp.

1. le Litre (Pour la Pinte)

2. le Gramme (Pour la Livre)

3. le Mètre (Pour l'Aune)

4. l'Are (Pour la Toise)

5. le Franc (Pour une Livre Tournois)

6. le Stere (Pour la Denie Voie de Bois)

Dépôté à la Bib<sup>l</sup> N<sup>o</sup> le 24 Ventose An 8. | A Paris chez Delion Rue Montmartre N<sup>o</sup> 242 pres le Boulevard.



Estampe de 1800 illustrant l'usage des nouvelles mesures décimales, rendu obligatoire en France par un arrêté du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800), cinq ans après l'introduction du système métrique.



## LA FORME DE LA TERRE

### Approche numérique du calcul du rayon de la Terre

A partir du méridien ou de l'équateur d'une planète, il est possible de déterminer le rayon de celle-ci. En effet, si la Terre est apparentée à une sphère parfaite, le méridien d'une planète est le périmètre de cette dernière.



#### L'ESSENTIEL

Le périmètre vaut  $P = 2 \times \pi \times R$ .

La formule du rayon à partir du périmètre est alors :  $R = \frac{P}{2 \times \pi}$

Dans le cadre de la Terre, Eratosthène avait mesuré un méridien de 39 375 km.

$$R = \frac{P}{2 \times \pi} = \frac{39\,375}{2 \times \pi} = 6\,267 \text{ km}$$



#### UN PEU DE CALCULS

Appliquez ce même raisonnement aux satellites et planètes suivantes :

Astre	Soleil	Lune	Mercure	Vénus
Circonférence	$4,38 \times 10^6 \text{ km}$	10 923 km	15 329 km	?
Rayon	?	?	?	6 050 km

Pour le Soleil, la Lune et Mercure, il faut appliquer la méthode utilisée par Eratosthène.

Soleil :

$$R = \frac{P}{2 \times \pi} = \frac{4\,380\,000}{2 \times \pi} = 697\,098 \text{ km}$$

Lune :

$$R = \frac{P}{2 \times \pi} = \frac{10\,923}{2 \times \pi} = 1\,738 \text{ km}$$

Mercure :

$$R = \frac{P}{2 \times \pi} = \frac{15\,329}{2 \times \pi} = 2\,440 \text{ km}$$

Attention au petit piège pour Vénus ! On cherche à déterminer la circonférence, donc le périmètre ! Il faut donc appliquer la formule suivante :

$$\begin{aligned} P &= 2 \times \pi \times R \\ P &= 2 \times \pi \times 6\,050 \\ P &= 38\,000 \text{ km} \end{aligned}$$



## LA FORME DE LA TERRE

### Le système géodésique



#### RÉFLÉCHISSONS ENSEMBLE

D'après vos recherches, donnez la définition de longitude et latitude.

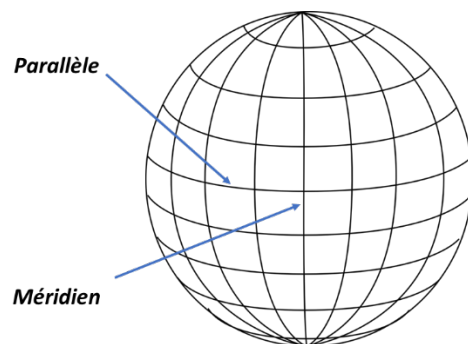
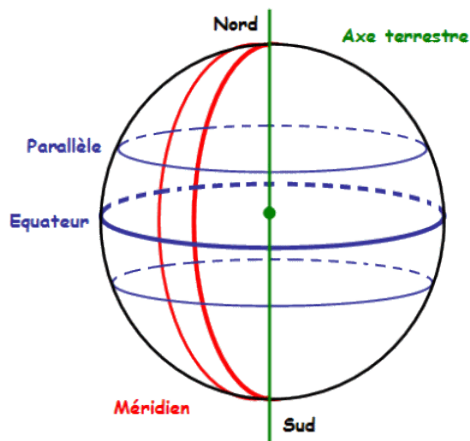
.....

.....

.....

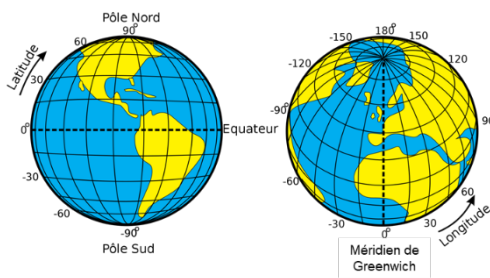
.....

Pour se situer sur le globe terrestre, nos ancêtres ont mis au point un système de coordonnées. Il en existe trois exactement. Un point est caractérisé par une latitude, une longitude et une élévation par rapport au niveau de la mer (altitude).



La latitude d'un lieu est la mesure de l'angle entre l'équateur et le parallèle de ce lieu. La latitude Nord (N) ou Sud (S) varie de 0° à 90°.

La longitude d'un lieu est la mesure de l'angle entre le méridien d'origine (Greenwich) et le méridien du lieu étudié. La longitude Est (E) ou Ouest (W) varie de 0° à 180°.

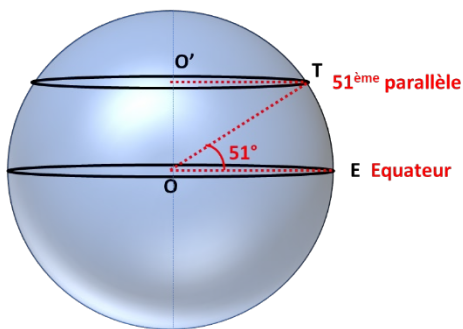


Les coordonnées géographiques sont issues d'un système appelé « géodésique ». Ce système permet de se repérer à la surface de la planète. Il s'agit d'un quadrillage imaginaire, inventé par l'Homme, qui divise la Terre en « carreaux ». On peut alors localiser un lieu à l'intersection d'une ligne horizontale (la latitude) et d'une ligne verticale (la longitude).

Ce quadrillage nous permet de visualiser les parallèles et les méridiens. Un parallèle est une ligne parallèle à l'équateur mais dont la longueur est plus faible que celui-ci. Le méridien est lui une ligne courbe de la Terre liant les deux pôles.

Les latitudes sont déterminées à partir de l'équateur. Il n'existe cependant pas de référence naturelle pour fixer l'origine des longitudes. Il fut donc nécessaire de définir un méridien d'origine comme référence. À la suite d'une conférence internationale en 1884, les astronomes et les cartographes ont choisi une ligne nord-sud passant par l'observatoire royal de Greenwich, près de Londres comme Méridien d'Origine.

Afin de distinguer toutes ces latitudes et longitudes, une distinction selon un angle est faite. Mais que cela signifie-t-il ?



La latitude et la longitude sont mesurées en degrés qui forment un angle, le centre de chaque angle étant au centre de la planète.

La longitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement Est ou Ouest par rapport au Méridien d'Origine. Toutes les longitudes sont appelées méridiens.

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression du positionnement Nord ou au Sud par rapport à l'équateur. Ces latitudes sont-elles appelées parallèles.

rapport à l'équateur. Ces latitudes sont-elles appelées parallèles.

Prenons l'exemple de Montpellier. La latitude de Montpellier est 43.610769° et sa longitude 3.876716°. Par simplicité, nous prendrons respectivement 43,61° et 3,88°.

Les dizaines et unités de ces valeurs sont considérées comme les angles. Les décimales seront transformées en « minutes », sachant que 1°=60' (minutes).

Concernant la latitude, Montpellier est à 43° au Nord de l'équateur. Pour les minutes, il faut faire un produit en croix :

1°	60'
0,61	?

$$minutes = \frac{60 \times 0,61}{1} = 36'$$

Montpellier a donc comme coordonnées en latitude : 43° 36' N

Concernant la longitude, Montpellier est à 3° au l'Est du méridien de Greenwich. Pour les minutes, il faut faire un produit en croix :

1°	60'
0,88	?

$$minutes = \frac{60 \times 0,88}{1} = 52'$$

Montpellier a donc comme coordonnées en longitude :  $3^{\circ} 52' E$ .

Montpellier a donc comme coordonnées :  $43^{\circ} 36' N 3^{\circ} 52' E$ .



## UN PEU DE CALCULS

Recherchez les latitudes et longitudes puis calculez les coordonnées de ces différentes villes ainsi que celles de la ville où vous habitez. Utilisez la méthode vue ci-dessus.

Villes	Votre ville	Paris	New-York	Le Cap	Tokyo	Sidney
Coordonnées						
Latitude						
Longitude						

Voici les coordonnées des différentes villes.

Villes	Paris	New-York	Le Cap	Tokyo	Sidney
Coordonnées	<b>Latitude :</b> <b>48°51' N</b> <b>Longitude :</b> <b>2°20' E</b>	<b>Latitude :</b> <b>40°42 N</b> <b>Longitude :</b> <b>74°00 O</b>	<b>Latitude :</b> <b>33°55' S</b> <b>Longitude :</b> <b>18°25' E</b>	<b>Latitude :</b> <b>35°41' N</b> <b>Longitude :</b> <b>139°41 E</b>	<b>Latitude :</b> <b>33° 51' S</b> <b>Longitude :</b> <b>151° 11' E</b>
Latitude	<b>48.8534</b>	<b>40.7127</b>	<b>-33.9289</b>	<b>35.6828</b>	<b>-33.8548</b>
Longitude	<b>2.3488</b>	<b>-74.0060</b>	<b>18.4173</b>	<b>139.7594</b>	<b>151.2164</b>

### COMMENT EST-IL POSSIBLE DE DETERMINER LA LONGUEUR D'UN MERIDIEN OU D'UN PARALLELE ?

Un simple calcul par produit en croix est suffisant. En effet, un méridien (ou un parallèle) forme un périmètre circulaire autour de la Terre.

Prenons l'exemple de deux villes françaises, Caen et Pau. Elles sont situées sur le même méridien et la distance entre les deux villes est de 6° de latitude. Il est donc possible de déterminer leur distance à « d'oiseau ».

Le périmètre du méridien est le périmètre de la sphère :

$P = 2 \cdot \pi \cdot R$  avec R le rayon de la Terre approximé à 6 400km.

$P = 2 \cdot \pi \cdot 6400 = 40\,192\text{km}$ .

Ce périmètre correspond à un arc de cercle de 360°C.

360°	40 192 km
6°	?

Par produit en croix, il est possible de calculer le méridien :

$$\frac{40192 \times 6}{360} = 670\text{km}$$

Attention ! Certains documents indiquent qu'un méridien est un demi-cercle imaginaire reliant les deux pôles et non plus un cercle faisant le tour de la Terre. Dans ce cas-là, sa longueur est de 20 000 km et cette longueur correspond à un angle de 180°.



### UN PEU DE CALCULS

Une ville P et une ville B se situent sur le 45ème méridien Est.

Ville	Latitude	Longitude
P	53,1° N	45° E
B	10,2° N	45° E



Le rayon de la Terre est de 6 378 km. Calculez la distance entre ces deux villes.

P et B sont sur le même méridien. Il n'y a donc pas de variation de longitude, juste une variation de latitude.

Cette variation de latitude vaut :

$$53,1 - 10,2 = 42,9^\circ.$$

La Terre est une sphère. Un méridien dans sa longueur totale a donc un angle de  $360^\circ$ . Il est donc nécessaire de déterminer la longueur de l'équateur. Il faut donc calculer le périmètre de la Terre.

Dans notre cas (question 2), le périmètre de la Terre est :

$$P = 2 \times \pi \times R_{\text{Terre}}$$

$$P = 2 \times \pi \times 6378 = 40\,074 \text{ km}$$

$360^\circ$	40 074 km
$42,9^\circ$	?

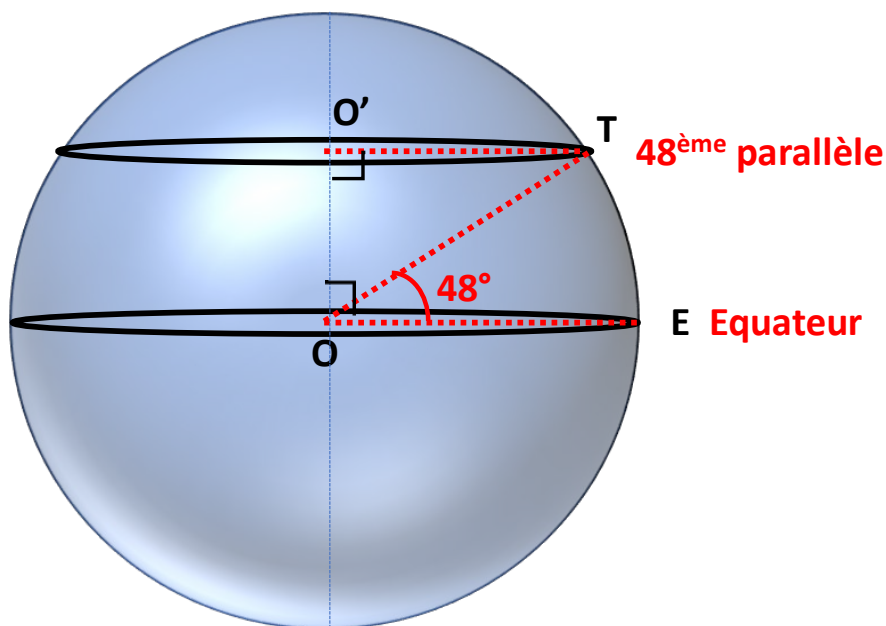
Par produit en croix, il est possible de calculer le méridien :

$$\frac{40\,074 \times 42,9}{360} = 4775 \text{ km}$$



### UN PEU DE CALCULS

Au cours de cet exercice, nous allons chercher à déterminer la longueur d'un parallèle. Intéressons-nous au 48<sup>ème</sup> parallèle passant par Paris. L'équateur au cours de cet exercice aura un rayon de 6378 km.



1. Déterminez la longueur OT.
2. Déterminez la mesure de l'angle  $\widehat{OTO'}$ .
3. Déterminez le rayon O'T du 48<sup>ème</sup> parallèle.
4. Déterminez la longueur du 48<sup>ème</sup> parallèle.

1. Déterminez la longueur OT.

OT est un des rayons de la Terre. La longueur OT vaut donc 6378 km.

2. Déterminez la mesure de l'angle  $\widehat{OTO'}$ .

(O'T) et (OE) sont des droites parallèles. Les angles  $\widehat{EOT}$  et  $\widehat{OTO'}$  sont donc des angles alternes-internes. Leurs valeurs sont donc égales.  $\widehat{OTO'}$  mesure donc  $48^\circ$ .

3. Déterminez le rayon O'T du 48ème parallèle. Le triangle OO'T est un triangle rectangle en O'. L'hypoténuse [OT] est le rayon de la Terre. Il est alors possible de calculer la longueur O'T grâce à la trigonométrie.

$$\cos \widehat{OTO'} = \frac{O'T}{OT} \text{ d'où } OT = O'T \times \cos \widehat{OTO'}$$

$$OT = 6378 \times \cos 48$$

$$OT = 4267 \text{ km}$$

4. Déterminez la longueur du 48ème parallèle.

$$P = 2 \times \pi \times R$$

$$P = 2 \times \pi \times 4267$$

$$P = 26\,810 \text{ km}$$

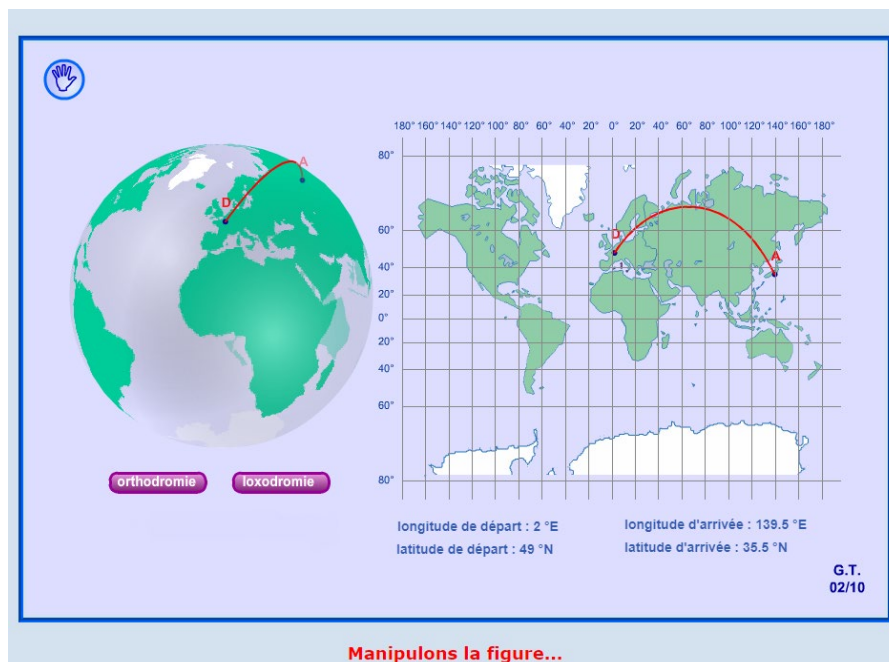
## MAIS QUELLE EST LA DISTANCE LA PLUS COURTE ENTRE DEUX POINTS DU GLOBE TERRESTRE ?



### UN PEU DE MANIPULATION

Rendez-vous sur le site internet suivant :

[http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Meca/RefTerre/Orthodromie1.php](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/RefTerre/Orthodromie1.php)



- Cliquez sur le bouton « loxodromie » et regardez le planisphère de droite. Que remarquez-vous sur la trajectoire entre le point A et D ? Quelle est la valeur de la distance ?
- Cliquez sur le bouton « orthodromie ». Que remarquez-vous sur la distance de la trajectoire ? Est-ce une ligne droite ?
- Quelle est la distance la plus courte ?



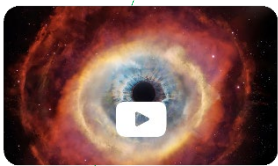
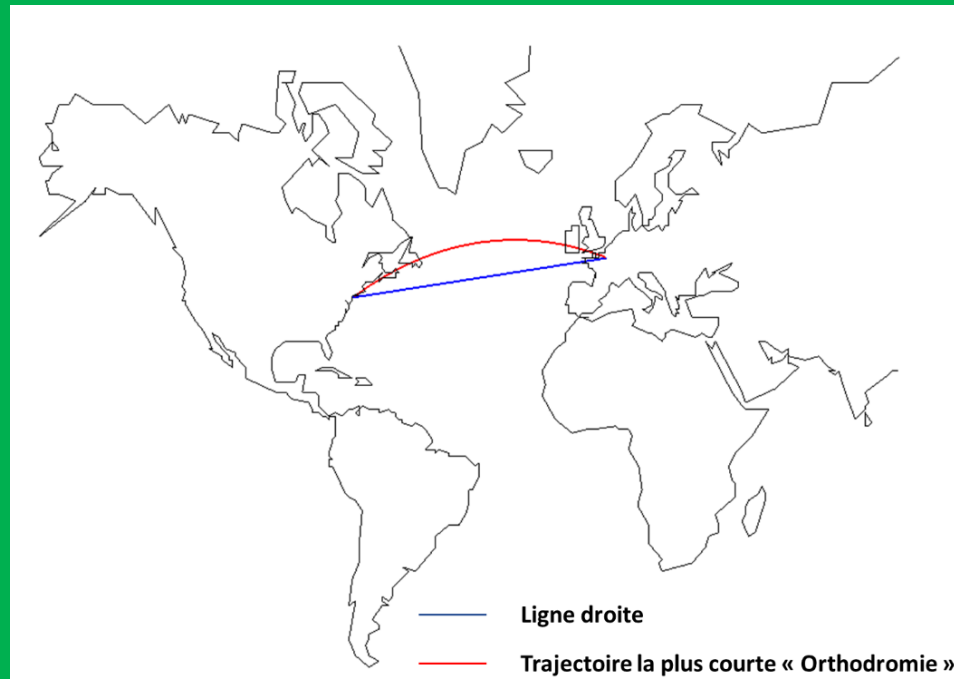
Dans le cas de la loxodromie, la trajectoire est une ligne droite qui vaut 11 354 km (exemple bleu dans le point « L'ESSENTIEL » ci-dessous).

Dans le cas de l'orthodromie, la distance n'est plus que 9 729 km et la ligne devient courbée. Il s'agit de la distance la plus courte entre deux points du globe terrestre.



## L'ESSENTIEL

L'orthodromie est la route la plus courte sur le globe entre deux points : c'est un arc de grand-cercle passant par ces deux points.



## POUR ALLER PLUS LOIN

**COSMOS, une odysée à travers l'univers – série documentaire**  
Episode N°13 : Les prémices de la connaissance

Cet épisode aborde la notion de la connaissance et de l'inconnu. Nous savons moins de choses aujourd'hui sur l'univers que les européens avant la découverte des Amériques. Tous ces milliards de galaxies, d'étoiles et de planètes représentent seulement 4 pour cent de ce qui pourrait réellement exister. Cette conscience est l'humilité qui distingue la science des autres activités humaines. Cela nous fait savourer le fait que de grands mystères nous attendent encore.

[A retrouver en DVD ou sur toutes les plateformes légales de streaming](#)

## LE TEMPS DU BILAN

### ➤ La connaissance de la forme de la Terre... d'une Terre plate dans une bulle d'air à un géoïde.

Au cours de l'histoire et sous l'effet de simples observations, la Terre a « changé » plusieurs fois de formes passant d'une Terre plate sous une bulle d'air (vision de Thales) à une Terre, flottant sur un cylindre (vision d'Anaximandre).

Ce sont différentes observations d'étoiles, d'éclipses ou de mouvements de navires à l'horizon qui indiquèrent aux savants que la Terre était de forme sphérique.

Au Moyen-Age, les scientifiques affinèrent cette vision en déterminant que la Terre était un géoïde c'est-à-dire une sphère qui n'est pas parfaitement cylindrique.

### ➤ Les indices qui ont amenés à comprendre la sphéricité de la Terre

Ne disposant pas des moyens technologiques actuels, seules les observations aiguillèrent les savants sur la sphéricité de la Terre.

Tout d'abord en fonction de la latitude terrestre, la position des étoiles change, certaines n'étant pas visibles de partout sur Terre. Cette disparition n'est possible que si la Terre n'est pas plate mais sphérique.

L'observation d'éclipses de la Lune montrèrent aussi une certaine courbure de la Terre.

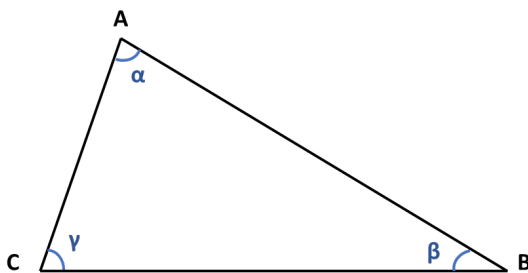
Une dernière observation au niveau de la mer finit par aiguiller les scientifiques. Lors de départ de navires, la proue des bateaux disparaissait avant le mât. De même lors de l'arrivée de galères, ce mât apparaissait avant la proue. Ces observations mettent en évidence la courbure de la Terre.

### ➤ La triangulation... A l'origine du mètre

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, Jean-Baptiste Delambre et Pierre Méchain entreprirent de déterminer avec exactitude la mesure de l'arc de méridien passant par Paris et allant de Dunkerque à Barcelone. Cette mesure fut faite par triangulation. A l'issue de cette épopée de 17 ans, il fut défini une nouvelle mesure, le mètre, qui devint l'unité de mesure officielle et utilisée partout en France puis dans le monde.

Mais qu'est-ce que la triangulation ?

La triangulation est une technique employée pour mesurer les distances. Le principe consiste à mesurer la distance entre deux points connus et les angles que forment ces points avec un troisième de position inconnue.



Grâce à la loi des sinus (formule donnée) dans ce triangle ABC, il est possible de déterminer n'importe que longueur de ce triangle.

$$\frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AC}{\sin \beta}$$

### ➤ Du rayon à la circonférence d'une planète ... une simple formule

Une simple formule va permettre de déterminer la circonférence d'une planète à partir du rayon

Périmètre à partir du rayon	Rayon à partir du périmètre
$P = 2 \times \pi \times \text{rayon}$	$R = \frac{P}{2 \times \pi}$

➤ **Un point à la surface de la Terre : une latitude, une longitude et deux coordonnées angulaires**

Tout endroit sur Terre a un système de coordonnées afin d'être localisable facilement. Ces caractéristiques sont issues de la latitude et la longitude.

La latitude d'un lieu est la mesure de l'angle entre l'équateur et le parallèle de ce lieu. La latitude Nord (N) ou Sud (S) varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ .

La longitude d'un lieu est la mesure de l'angle entre le méridien d'origine (Greenwich) et le méridien du lieu étudié. La longitude Est(E) ou Ouest (W) varie de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ .

➤ **La Terre, une surface composée de parallèles et méridiens**

Un parallèle est une ligne parallèle à l'équateur mais dont la longueur est plus faible que celui-ci. Le méridien est lui une ligne courbe de la Terre liant les deux pôles.

Le méridien d'origine est le méridien de Greenwich.

➤ **Un arc de cercle ou la distance la plus courte entre deux points de la surface terrestre**

Bien que ceci semble étrange à première vue, la distance la plus courte entre deux points est un arc de cercle reliant ces deux points et non une ligne droite. On parle d'orthodromie.



Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.  
Les exercices ont été classés dans un ordre d'approfondissement croissant.  
Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

EXERCICE

01

Répondez à ces quelques questions à choix multiple.

- 1) Comment nomme-t-on un petit cercle parallèle à l'équateur ?
  - a. L'altitude
  - b. La longitude
  - c. Le parallèle
  - d. Un équateur
- 2) Comment nomme-t-on un grand cercle passant par les pôles ?
  - a. Le méridien
  - b. L'équateur
  - c. La parallèle de Greenwich
  - d. La latitude
- 3) Une latitude est un angle compris :
  - a. Entre 0 et 180° Est ou Ouest
  - b. Entre 0 et 90° Nord ou Sud
  - c. Entre 0 et 180° Nord ou Sud
  - d. Entre 0 et 90° Est ou Ouest
- 4) La géodésie est une science :
  - a) Qui étudie le périmètre des cercles.
  - b) Qui étudie les aires des sphères.
  - c) Qui étudie la forme de la Terre.
  - d) Qui étudie la position des planètes par rapport au Soleil.
- 5) La triangulation permet :
  - a) De calculer le périmètre de la Terre.
  - b) De déterminer une distance à partir d'une longueur et de deux angles.
  - c) De déterminer une distance à partir de trois angles.
  - d) De déterminer la distance au Soleil.
- 6) L'évolution de la position des étoiles dans le ciel permet de déterminer :
  - a) Le rayon de la Terre.
  - b) La distance Terre-Soleil.
  - c) La valeur du mètre.
  - d) La forme de la Terre.
- 7) L'orthodromie est :
  - a) La route la plus courte sur le globe entre deux points sous la forme d'un arc de grand-cercle passant par ces deux points.
  - b) La route la plus courte sur le globe entre deux points sous la forme d'une ligne droite passant par ces deux points.
  - c) Le parallèle le plus court sur Terre.
  - d) Le parallèle le plus long sur Terre.
- 8) On doit la triangulation à deux scientifiques qui sont :
  - a) Newton et Kepler.
  - b) Méchain et Delambre.
  - c) Aristote et Eratosthène.
  - d) Parménide d'Elée et Anaximandre.

- 9) La loi des Sinus permet :
- De déterminer la forme de la Terre.
  - De calculer la distance lors de la triangulation.
  - De déterminer la distance Terre-Lune.
  - De déterminer la valeur de la courbure de la Terre.
- 10) On doit la valeur précise du mètre :
- A l'Égypte Antique.
  - A la Grèce Antique.
  - A la France.
  - Aux Anglo-saxons.

## EXERCICE

02

## Vrai ou Faux ?

	V / F
1) La Terre est une sphère parfaite.	
2) Le rayon de la Terre est de 6370 kilomètres environ.	
3) Eratosthène détermina la 1 <sup>ère</sup> mesure du rayon de la Terre.	
4) La courbure de la Terre a pu être vérifiée en étudiant la manière dont disparaissaient les bateaux à l'horizon.	
5) La triangulation a permis la détermination du méridien qui lie Dunkerque à Perpignan.	
6) Un parallèle est une ligne imaginaire parallèle au méridien de Greenwich.	
7) Il est possible de déterminer la longueur d'un parallèle si connaît sa valeur angulaire.	
8) Le méridien de Greenwich fait la même longueur que l'équateur.	
9) L'orthodromie est la route la plus longue sur le globe entre deux points : c'est une ligne droite passant par ces deux points.	
10) Il est impossible de déterminer la distance entre deux points se situant sur le même méridien.	

## EXERCICE

03

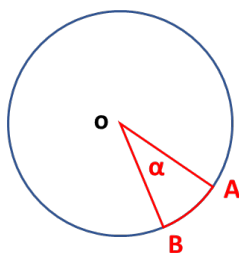
Citez trois faits qui prouvent que la Terre est ronde et non-plate.

## EXERCICE

04

## Calcul de la circonférence d'un cercle

A partir d'un angle et d'une longueur de la courbure de la Terre, Eratosthène a déterminé la circonférence totale de la Terre. Revoyons son raisonnement mathématique.



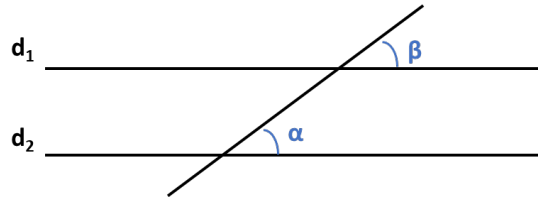
Soit un cercle de centre O.

L'angle  $\alpha$  est de  $20^\circ$ . La longueur AB fait 120m.

- Déterminez la circonférence du cercle.
- Quelle est la valeur approximative du rayon ?

## EXERCICE

05

Une histoire d'angles

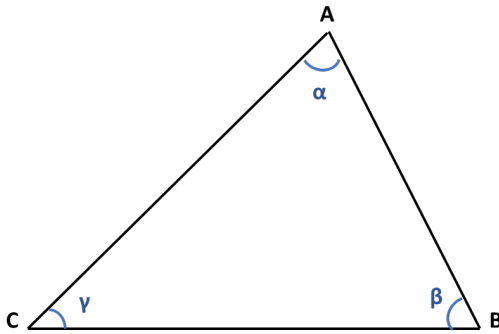
Soient  $d_1$  et  $d_2$  deux droites parallèles. Les angles  $\alpha$  et  $\beta$  :

- 1) Sont égaux.
- 2) Ont une valeur différente.
- 3) Ont une valeur supérieure à  $90^\circ$ .

## EXERCICE

06

- 1) Exprimez la longueur  $AB$  en fonction de  $\alpha$  et  $\gamma$ .
- 2) Exprimez la longueur  $BC$  en fonction de  $\alpha$  et  $\beta$ .
- 3) Exprimez la longueur  $AC$  en fonction de  $\beta$  et  $\gamma$ .

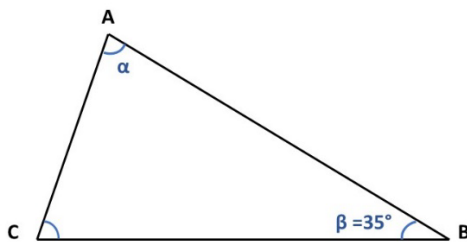


Rappel de la loi des sinus :

$$\frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{AC}{\sin \beta}$$

## EXERCICE

07

Déterminez la longueur  $AC$ .

Rappel de la loi des sinus :

$$\frac{BC}{\sin \alpha} = \frac{AB}{\sin \gamma} = \frac{AC}{\sin \beta}$$

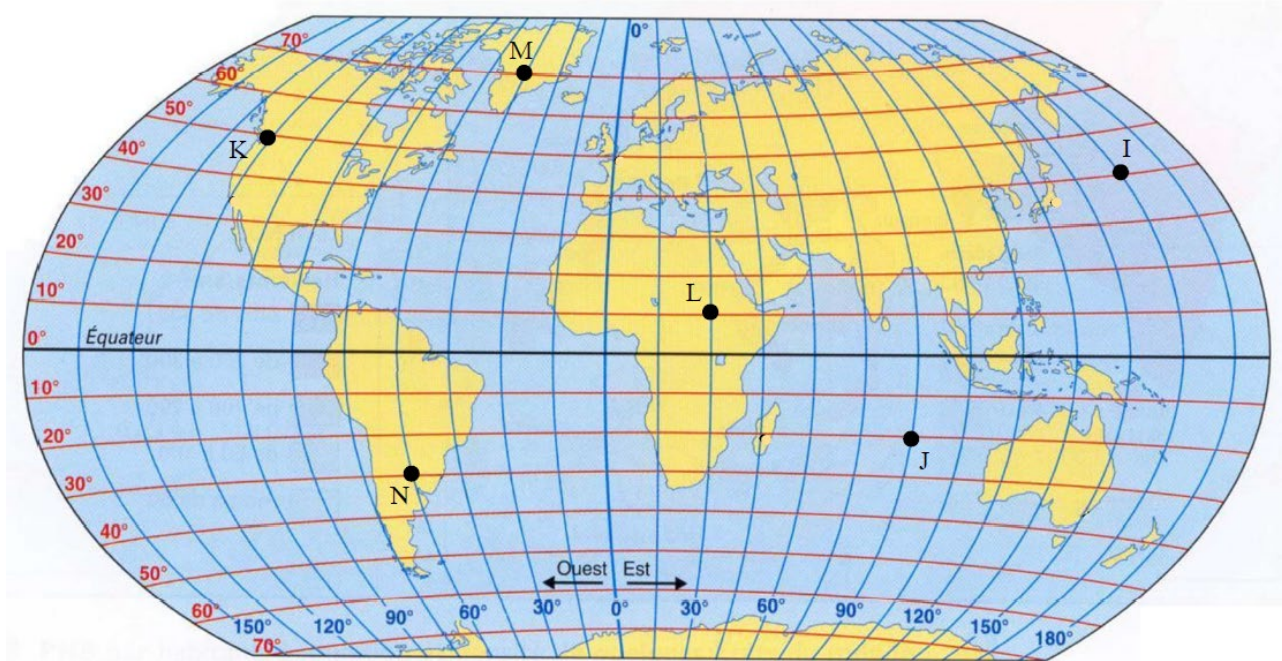
## EXERCICE

08

Des mètres et des toises.

Le 7 Avril 1795, la loi définit le mètre comme les quarante millièmes parties du méridien terrestre. Pour déterminer la valeur du mètre, des mesures ont été faites entre Dunkerque et su Barcelone par triangulation. Dunkerque et Barcelone ont la même longitude ( $2,2^\circ$ ) mais ont une latitude différente :  $51,034^\circ\text{N}$  Dunkerque et  $41,38^\circ\text{N}$  pour Barcelone.

- 1) Déterminez la valeur de l'arc de cercle entre Dunkerque et Barcelone.
- 2) Sachant qu'à l'époque, la distance estimée entre Dunkerque et Barcelone est de 551 585 toises. Déterminez la longueur totale du méridien.
- 3) Déterminez la valeur du mètre en toises.

**Exercices coordonnées des points géographiques**

Donnez les coordonnées des points situés sur le planisphère.

Positionnez sur la carte les points suivants :

- Point A : Longitude : 60° Ouest Latitude : 20° Sud
- Point B : Longitude : 75° Est Latitude : 50° Nord
- Point C : Longitude : 150° Est Latitude : 30° Sud
- Point D : Longitude : 150° Ouest Latitude : 20° Nord
- Point E : Longitude : 45° Est Latitude : 40° Sud
- Point F : Longitude : 45° Ouest Latitude : 20° Nord

**Calcul de distance**

En considérant que Tokyo et Adélaïde sont sur la même longitude, déterminez la distance Tokyo et Adélaïde.

Données :

Latitude de Tokyo : 35°N

Latitude d'Adélaïde : 34°S

Périmètre de la Terre : 40 075 km

**Calcul d'un rayon**

Le méridien de Greenwich relie le Pôle Nord au Pôle Sud. Sa longueur est de 20 003 kilomètres. Calculez le rayon de la Terre.

**Des rayons du soleil parallèles**

Pourquoi considère-t-on que les rayons du soleil soient parallèles entre eux ?

Données : Distance Terre-Soleil : 149 600 000 kilomètres ; Diamètre du soleil : 1 391 000 kilomètres.

## Etude de documents : Le méridien de Greenwich ou la Terre ronde.

### Document 1 : le méridien de Greenwich

Le méridien de Greenwich est le méridien qui sert de référence internationale de longitude. C'est exactement là que la longitude est définie comme égale à 0°. Nous intégrons cela depuis tout jeune, mais sans savoir réellement l'origine de sa mise en place.

Il faut savoir que ce méridien a été désigné de manière totalement arbitraire, car si l'on compare avec les parallèles, le degré zéro est quant à lui bien « authentique » puisque simplement défini par l'axe de rotation de la Terre. Le méridien 0° passe alors par l'Observatoire royal de Greenwich situé dans la banlieue de Londres. Il est donc complètement arbitraire comme en témoigne l'utilisation d'autres méridiens zéro avant ce dernier désigné lors de la conférence internationale du méridien qui s'est tenue à Washington en 1884. Il est possible de citer quelques villes telles que Paris, Bruxelles, Rome, Rio de Janeiro, Washington D.C, Jérusalem, Alexandrie, Saint-Petersbourg ou encore Kyoto.

Le méridien de Greenwich a fini par être adopté comme référence par l'ensemble des pays du monde, définissant tous les autres méridiens par la même occasion et les fuseaux horaires visibles sur les cartes.

Cependant, avec l'apparition du GPS, de simples touristes se sont aperçus en 1984 (soit pile un siècle après sa mise en place) que le méridien zéro n'était pas à la bonne place. Ce dernier a donc été décalé de 102,5 mètres 0 la latitude de Greenwich afin d'être enfin positionné de la bonne manière. À qui la faute ? Aux chercheurs de l'époque n'ayant pas pensé à prendre en compte les variations locales de gravité qui sont le fait de la densité de matières située dans le sous-sol.

D'après le texte de Yoann Demeure de Sciencepost.fr le 11 novembre 2016

### Document 2 : Une raison trouvée récemment

Le décalage entre le point de marquage du méridien et l'endroit où il se trouve vraiment a été découvert dans les années 1960 lorsque les satellites ont commencé à être utilisés pour la localisation précise. Il y a plusieurs décennies, la position du méridien a été déterminée avec du mercure. La surface de ce liquide était connue pour être parallèle à la Terre, avec un niveau de précision alors considéré comme très satisfaisant. Mais les GPS dont nous nous servons massivement aujourd'hui s'avèrent bien plus précis que ce procédé, et cette faille conséquente n'a pu être expliquée que très récemment.

Des scientifiques de l'Université de Virginie ont découvert que l'aplatissement de la Terre au niveau des pôles est la cause de ce décalage de coordonnées. Le GPS prend en considération la légère bosse présente à la surface de la Terre, ainsi que sa gravité irrégulière, et les lignes de longitude ne s'étendent pas sur notre planète aussi harmonieusement que ne l'indiquent les données exactes de l'astronomie.

D'après le texte d atlantico.fr du 19 aout 2015

- 1) **Présentez le document 1.**
- 2) **A l'aide du document 2 et de vos connaissances, montrez que la connaissance scientifique est intimement liée au progrès scientifique.**
- 3) **Greenwich est non pas à la longitude zéro mais à la longitude 00° 00' 05,3" soit 5,3 secondes. Sachant que 1 seconde vaut  $2,78 \times 10^{-4}$  degré. Déterminez le nombre de degré qui correspond à ce nombre de secondes.**
- 4) **Sachant que 360° vaut 28 336 km environ au niveau du 45<sup>ème</sup> parallèle qui passe dans le sud de la France, vérifiez le décalage en mètres entre le méridien de Greenwich et la valeurs GPS.**
- 5) **Comment expliquez cette différence ?**
- 6) **Aurait-on rencontré cette différence si la Terre avait été plate ?**



**Etude de document : Aristote et la forme de la Terre.**

Aristote est un philosophe grec né à Stagire en Macédoine (d'où le surnom de « Stagirite »), en 384 av. J.C., mort à Chalcis, en Eubée, en 322 av. J.-C. Dans son ouvrage "Du ciel, II, 14 » il montre à l'aide les raisons qui font penser que la terre est sphérique.

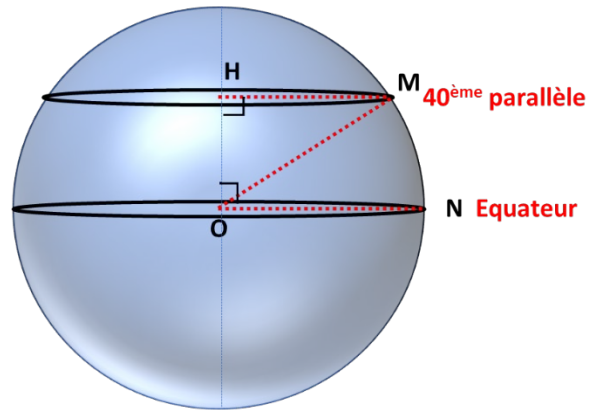
Argument tiré des éclipses de lune : « On s'en aperçoit encore grâce aux phénomènes qui tombent sous les sens. Autrement, les éclipses de lune ne présenteraient pas les sections que l'on sait. En fait, lors de ses phases mensuelles, la lune offre tous les types de divisions (elle est coupée par une ligne droite ou se fait biconvexe ou creuse), mais lors des éclipses, elle a toujours une ligne incurvée comme limite. Par conséquent, comme l'éclipse est due à l'interposition de la terre, c'est le profil de la terre qui, à cause de sa forme sphérique, produit cette figure ».

D'après Gérard Vidal, ENS de Lyon, 21 Mai 2014, tiré de <http://acces.ens-lyon.fr>

En vous appuyant sur vos connaissances et le texte, justifiez la forme de la Terre.

**Un peu de calcul**

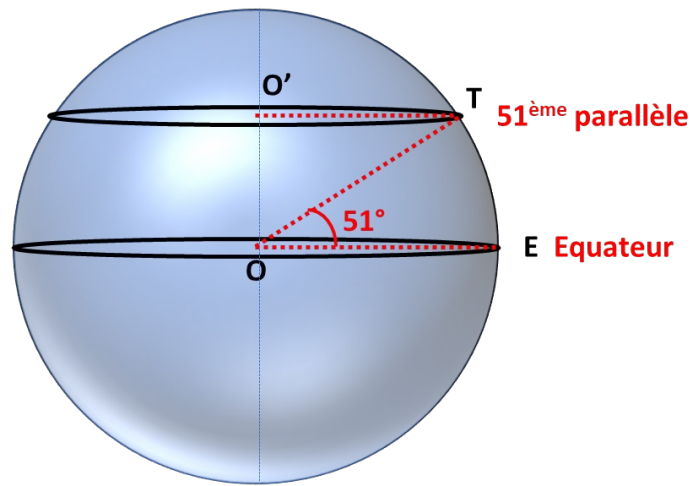
Soit le globe terrestre ci-contre. Madrid se situe sur le 40<sup>ème</sup> parallèle. Dans cet exercice, on considère que le rayon de la Terre est de 6378km.



- 1) Sachant que  $HM$  et le rayon de la Terre sont parallèles et sont perpendiculaires à l'axe Nord-Sud, déterminez l'angle  $\widehat{HOM}$ .
- 2) Déterminez la longueur  $HM$ .
- 3) A quoi correspond la longueur  $HM$  par rapport au parallèle de Madrid ?
- 4) Calculez la longueur du parallèle de Madrid.
- 5) La longitude de Madrid est  $3^\circ$  Ouest. New-York (USA) est à peu près à la même latitude que Madrid, sa longitude de New-York est  $74^\circ$  Ouest. Déterminez la distance New-York – Madrid.

**Exercice : la longueur du 51<sup>ème</sup> parallèle**

Au cours de cet exercice, nous allons chercher à déterminer la longueur d'un parallèle. Intéressons-nous au 51<sup>ème</sup> parallèle passant par Londres. L'équateur au cours de cet exercice aura un rayon de 6378 km.



- 1) Déterminez la longueur OT.
- 2) Déterminez la mesure de l'angle  $\widehat{OTO'}$ .
- 3) Déterminez le rayon  $O'T$  du 51<sup>ème</sup> parallèle.
- 4) Déterminez la longueur du 51<sup>ème</sup> parallèle.

EXERCICE

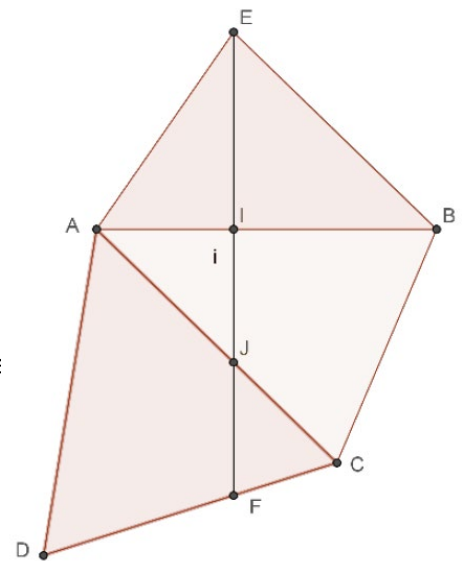
17

### Exercice : Application de la triangulation plane (tiré d'Eduscol)

Le segment [EF] joue ici le rôle de la méridienne Dunkerque-Barcelone. L'objectif est d'en mesurer la longueur.

La triangulation comporte ici quatre triangles. Les premières mesure réalisées sont :

- la base  $AB = 7,5\text{m}$  ;
- les trois mesures d'angles :  $\widehat{BAE} = 56^\circ$ ,  $\widehat{AEF} = 30^\circ$  et  $\widehat{ABE} = 45^\circ$ .



1. Calculez la mesure de l'angle  $\widehat{AEB}$ , puis la longueur AE.

2. À présent, dans le triangle AEI, on connaît un côté et deux angles. On peut donc le résoudre.

2.1. Calculez la mesure de l'angle  $\widehat{EIA}$  puis la longueur EI qui est le premier « morceau » de la méridienne.

2.2. Calculez la longueur AI.

3. On mesure ensuite les angles :  $\widehat{BAC} = 45^\circ$  et  $\widehat{ABC} = 67^\circ$ .

3.1. Calculez  $\widehat{ACB}$  et la longueur AC.

3.2. La résolution du triangle AIJ est possible. Déterminez IJ qui est le deuxième « morceau » de la méridienne.

3.3. Calculez la longueur AJ.

4. On mesure les angles  $\widehat{ADC} = 64^\circ$  et  $\widehat{CAD} = 54^\circ$ .

4.1. Déterminez la valeur de l'angle  $\widehat{CJF}$ .

4.2. Déterminer la longueur JF qui est le troisième morceau de la méridienne.

5. Déterminez la longueur de la méridienne EF.





## RÉDIGER UNE INTRODUCTION FORMULER UNE PROBLÉMATIQUE ET ANNONCER UN PLAN

Un des questionnements possibles que puisse avoir l'élève au cours de l'épreuve du baccalauréat, est une possible restitution organisée de connaissances sans support documentaire. Ce type d'épreuve fait donc appel aux connaissances de l'élève voire sa culture générale.

Ce type d'épreuve, très fréquente en Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) avant la réforme, est particulièrement redoutée des élèves... La peur du sujet qui n'inspire pas, la crainte d'avoir des lacunes au niveau des connaissances, le manque de méthodologie etc...

Alors tout d'abord quelques mots rassurants... Cette épreuve peut tomber mais ne sera pas forcément systématique. L'épreuve total d'enseignement scientifique dure deux heures et comportera deux exercices... Cette restitution sera soit un exercice, soit un petit morceau de cet exercice... Autant dire une petite restitution de connaissances et non plus la principale partie du bac comme le connaissaient les anciens bacheliers en SVT !

Au-delà de la forme, la méthode est souvent mal-cernée... C'est donc ce point-ci que nous allons travailler dans ce module.

Une bonne restitution de connaissance consiste à répondre à un sujet plus ou moins guidé en organisant sa réponse sous forme d'une introduction, d'un développement avec un plan compréhensible et d'une conclusion. De nombreux pièges sont à éviter dans ce type d'exercices comme paraphraser le sujet. Il est nécessaire avant tout de cerner le sujet ! C'est le premier travail à faire : un hors sujet vous fera perdre du temps au-delà des points destinés à cet exercice. Pour cela n'hésitez pas à souligner les mots clés du texte. Par la suite, il faut organiser ses idées et trouver une logique à votre exposé : en général en ayant bien appris et surtout compris votre cours, vous ne rencontrerez pas de difficultés.

Une restitution de connaissance est donc généralement composée de trois parties majeures :

- Une introduction.
- Un développement d'au moins deux parties.
- Une conclusion.

Au cours du chapitre 1, nous allons nous concentrer sur l'écriture de l'introduction. Celle-ci a un rôle primordial dans la compréhension qu'aura le correcteur sur votre copie. L'introduction elle-même suit des codes précis.

Elle est composée de plusieurs parties. Elle permet de présenter le sujet et de proposer la lecture de l'exposé. Elle est découpée en 3 étapes :

1. L'entrée en matière et la définition du sujet.

Il s'agit d'une petite phrase d'accroche qui va permettre au lecteur de situer le sujet (voir deux phrases, pas plus). Il ne faut pas hésiter à faire référence à des événements d'actualités, historiques (comme des découvertes) ou une idée reçue rependue comme une « fake news ».

## 2. Une problématique.

Une des étapes fondamentales ! Il s'agit d'une ou deux phrases (pas plus surtout !), éventuellement une question qui doit éveiller la curiosité du lecteur. Celui-ci doit percevoir l'existence d'un problème, d'une recherche, une idée à résoudre qui le sera dans l'exercice.

## 3. Une proposition de plan.

Il s'agit d'énumérer les différentes parties qui vont être développées au cours de la réponse (souvent 2 ou 3) en les citant dans leurs ordres d'apparitions. Vous pouvez utiliser des termes comme : « dans une première partie... Tout d'abord... puis ... ensuite... ».

Voici ci-dessous un exemple détaillé qui pourra vous servir de modèle.

### **Exemple détaillé d'introduction.**

Prenons un exemple de sujet tel que : « Le mètre : une révolution scientifique majeure ».

Ce sujet rentre dans une thématique liée à l'histoire de la forme de la Terre et plus précisément de la détermination de la longueur du méridien reliant Dunkerque à Barcelone. Il faut alors s'appuyer sur les connaissances du cours mais aussi sur votre culture générale.

Voici des réponses possibles pour l'entrée en matière :

« Le mètre est aujourd'hui l'unité de longueur utilisée dans de très nombreux pays mais aussi comme unité du système international scientifique. »

« Aujourd'hui, nous raisonnons tous en mètres (ou dérivé du mètre comme le kilomètre) pour mesurer nos déplacements. »

« Aujourd'hui en France, toutes nos distances et mesures sont calibrées sur le mètre, que nous cherchions à mesurer la circonférence de la Terre comme Ératosthène ou la taille d'un atome. »

Toutes ces phrases d'accroche servent uniquement à introduire le sujet et intéresser le lecteur. Il ne faut pas hésiter à se baser sur des éléments de culture générale voir même insérer des connaissances du cours (comme Ératosthène pour valoriser son travail).

Une fois la phrase de l'entrée en matière écrite, il faut alors poser la problématique. La problématique la plus naturelle dans ce sujet serait de se demander les raisons ou la manière dont a été définie le mètre.

Voici des réponses possibles pour cette problématique :

« Mais quelles sont les raisons et l'origine de sa création ? »

« Au cours de ce développement vont être étudiés les origines de la définition du mètre et son impact sur la société. »

Ces problématiques doivent permettre au lecteur de situer le questionnement auquel l'élève va répondre.

Après cette étape, il ne reste plus qu'à énoncer le plan qui va être développé par la suite tel que :

« Dans un premier temps, nous allons voir les difficultés rencontrées au Moyen-Âge pour la mesure de longueur, puis nous étudierons la manière dont a été défini le mètre à la suite de la mesure du méridien entre Dunkerque et Barcelone par Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre. »

« Tout d'abord, nous expliquerons la manière dont a été défini le mètre puis nous mettrons en évidence l'impact de son apparition sur la vie quotidienne des gens. »

L'introduction globale pourrait alors ressembler à :

« Le mètre est aujourd'hui l'unité de longueur utilisée dans de très nombreux pays mais aussi comme unité du système international scientifique. Mais quelles sont les raisons et l'origine de sa création ? Dans un premier temps, nous allons voir les difficultés vécues au Moyen-Âge pour la mesure de longueur, puis nous étudierons la manière dont a été défini le mètre à la suite de la mesure du méridien entre Dunkerque et Barcelone par Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre. »

« Aujourd'hui en France, toutes nos distances et mesures sont calibrées sur le mètre, que nous cherchions à mesurer la circonférence de la Terre comme Ératosthène ou la taille d'un atome. Au cours de ce développement vont être étudiés les origines de la définition du mètre et son impact sur la société. Tout d'abord, nous expliquerons la manière dont a été défini le mètre puis nous mettrons en évidence l'impact de son apparition sur la vie quotidienne des gens. »



Voici un sujet pour vous entraîner : « La triangulation de Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre : quand la géométrie se met au service de l’histoire ». Les réponses données sont des exemples de solutions.

- Phrase d’entrée en matière :

**En 1792, en pleine révolution française, Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre marquèrent l’histoire en mesurant précisément la longueur du méridien entre Dunkerque et Barcelone puis en définissant précisément le mètre.**

- Problématique

**Mais comment réussirent-ils cette aventure sans les moyens technologiques actuels ?**

- Proposition de plan :

**Tout d’abord, nous verrons ensemble la technique utilisée par ces deux scientifiques pour mesurer une distance (triangulation à l’aide de 2 angles et une longueur) puis nous étudierons l’impact de cette distance sur la société avec la définition d’une nouvelle unité de mesure : le mètre.**

- Introduction générale :

**En 1792, en pleine révolution française, Pierre Méchain et Jean-Baptiste Delambre marquèrent l’histoire en mesurant précisément la longueur du méridien entre Dunkerque et Barcelone puis en définissant précisément le mètre. Mais comment réussirent-ils cette aventure sans les moyens technologiques actuels ? Tout d’abord, nous verrons ensemble la technique utilisée par ces deux scientifiques pour mesurer une distance (triangulation à l’aide de 2 angles et une longueur) puis nous étudierons l’impact de cette distance sur la société avec la définition d’une nouvelle unité de mesure : le mètre.**

### EXERCICE

18

Sujet : « Newton et la géodésie : une science au service de la compréhension de la forme de la Terre ». La réponse donnée sera un exemple de solution.

### EXERCICE

19

Sujet : « La détermination de la forme sphérique de la Terre : une histoire d’observation ». La réponse donnée sera un exemple de solution.

### EXERCICE

20

Sujet : « Les coordonnées géographiques : un système de géolocalisation précis ». La réponse donnée sera un exemple de solution.





La détermination de la forme de la Terre fut un long processus qui commença sous l'ère de la Grèce antique pour s'achever au Moyen-Age. Loin de disposer de nos moyens technologiques, les plus grands savants de l'époque se basèrent sur l'observation. L'évidence de la sphéricité de la Terre aujourd'hui est le fruit d'un long processus et bien sûr de nombreux débats.

Les progrès technologiques nous permettent aujourd'hui de localiser n'importe quel point de la croûte terrestre en se basant sur un système de coordonnées liées aux différents méridiens et parallèles terrestres.

Mais la terre ne fut pas l'objet de nombreuses polémiques uniquement pour sa forme sa forme... La détermination de son âge fut aussi l'objet de nombreux débats parmi les plus connus de l'histoire.

Nous verrons tout d'abord l'histoire de la datation de la Terre, parsemée d'erreurs et de débats puis nous verrons ensemble par quelle technique la datation de la Terre a été déterminée précisément.

### Q COMPÉTENCES VISÉES

- Reconnaître les différentes étapes de la datation de l'âge de la Terre.
- Identifier les différentes controverses historiques liées à cette datation.
- Connaître les différentes méthodes utilisées.





## Première approche

# Les observations du comte de Buffon

Au XVII<sup>ème</sup> siècle, Georges-Louis Leclerc de Buffon a étudié la durée de refroidissement de boulets de canon de différents rayons, initialement portés à blanc jusqu'à revenir à température ambiante. Il sera ainsi supposé que tous ces boulets aient même composition et possèdent les mêmes températures initiales et finales. Voici les résultats de Buffon :

Rayon du boulet (en pouces)	0,5	1	1,5	2	2,5
Durée de refroidissement (en minute)	74	170	250	325	402

1) Sachant qu'un pouce fait 2,7cm, calculez la longueur des rayons des boules :

Rayon du boulet (en pouces)	0,5	1	1,5	2	2,5
Rayons du boulet en cm					

2) Tracez sur un tableur le graphique la durée de refroidissement en fonction du rayon du boulet en cm et déterminez une courbe de tendance.

3) Convertissez le rayon de la Terre de 6370 km en cm :

4) Grace à l'équation de la courbe de tendance, déterminez la durée en minutes du refroidissement de la Terre :



### UN PEU D'HISTOIRE

**Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon** (1707-1788) est un naturaliste, mathématicien, biologiste, cosmologiste, philosophe et écrivain français.

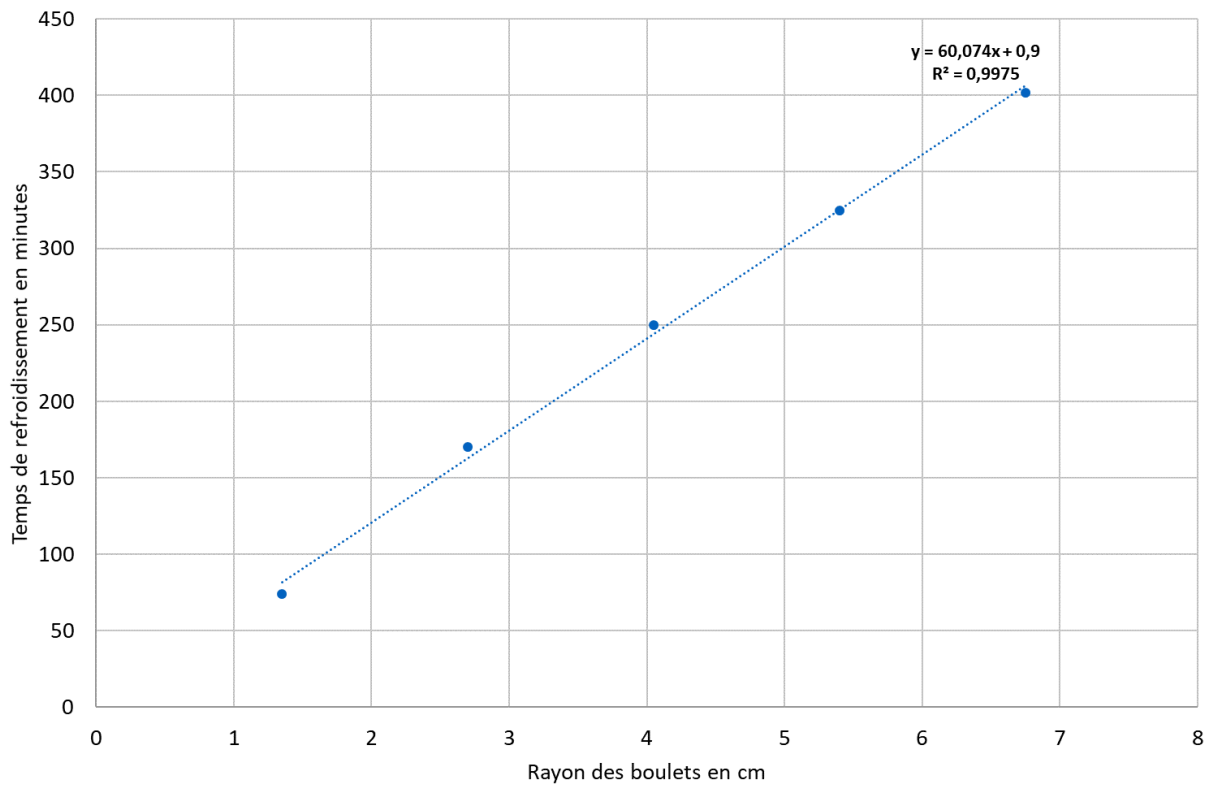
À la fois académicien des sciences et académicien français, il participe à l'esprit des Lumières. Ses théories ont influencé deux générations de naturalistes, en particulier Jean-Baptiste de Lamarck et Charles Darwin.

**Il a embrassé tous les champs de l'histoire naturelle**, dont notamment l'histoire de la Terre. Depuis Descartes, Buffon est le seul à évoquer la naissance de l'Univers et de la Terre. Il distingue plusieurs périodes dans l'histoire de la Terre : la planète est d'abord un globe en fusion (première période), qui en se refroidissant forme des rides, le relief (deuxième période), puis les eaux recouvrent la quasi-totalité des terres (troisième période), et dans cet océan primitif, se forment les premiers animaux (quatrième période), les volcans fissurent ensuite l'écorce terrestre, où s'engloutissent les eaux, et la vie se développe ainsi sur les terres émergées, partant du nord vers le sud (cinquième période) ; les continents se disloquent et deviennent tels qu'on les connaît aujourd'hui (sixième période) ; et enfin, l'homme apparaît (septième période).

1) Sachant qu'un pouce fait 2,7cm, calculer la longueur des rayons des boules :

Rayon du boulet (en pouces)	0,5	1	1,5	2	2,5
Rayons du boulet en cm	1,35	2,7	4,05	5,4	6,75

2)



3) **6370 km = 637 000 000cm**

4) Grace à l'équation de la courbe de tendance, déterminer la durée en minutes du refroidissement :  
**38 200 000 000 minutes environ => 637 000 000 heures => 26 541 666,67 jours =>72 600 ans environ**



## L'ÂGE DE LA TERRE

### Une longue histoire parsemée d'erreurs et de débats

**L'âge de la Terre... 4,54 milliards d'années.** Mais cette valeur précise n'est connue que depuis 1953. Auparavant cette évidence n'en était pas une... Revenons sur cette histoire qui a mobilisé les plus grands scientifiques depuis 2000 ans !



#### UN PEU D'HISTOIRE

##### Aristote et l'âge infini de la Terre.

Initialement à l'antiquité, l'Univers et la Terre n'ont pas d'âge. Aristote conçoit un monde infini puisque selon lui, temps et mouvements sont liés. Or selon lui, la Terre a toujours été en mouvement, elle a donc toujours existé. Il n'y a donc pas de début. L'Univers et la Terre n'ont donc pas d'âge selon la Grèce antique.

La vision de l'Âge de la Terre à l'époque antique est donc plutôt basée sur des considérations philosophiques puisqu'aucune expérimentation n'est possible et qu'aucun texte ne retrace l'évolution du monde depuis sa création.



#### UN PEU D'HISTOIRE

##### La vision biblique : 6000 ans.

La vision de l'âge de la Terre évolue avec l'apparition des grandes religions. En effet, selon elles et quelle que soit la religion, il y a eu création du monde. Bien qu'elle ne soit pas littéralement écrite, elle peut être mesurée en ajoutant les âges des différents protagonistes cités dans les textes religieux.

Un consensus se dégagait sous l'impulsion de l'archevêque anglais James Ussher (XVII<sup>ème</sup> siècle) qui data la création de l'âge de la Terre le 23 octobre 4004 avant Jésus-Christ, résultat validé par Isaac Newton et Johannes Kepler.

Afin de mieux comprendre ce résultat, il est important de prendre en compte l'omniprésence de la religion à cette époque dans tous les domaines qui soient comme le montre la phrase suivante prononcée par Isaac Newton « La gravité explique le mouvement des planètes, mais elle ne peut expliquer ce qui les met en mouvement. Dieu gouverne toutes choses. ».

La Terre aurait donc environ 6000 ans.

Cette théorie des 6000 ans était parfaitement acceptée au sein de la société. Celle-ci peut sembler parfaitement invraisemblable aujourd'hui mais il faut bien cerner la place de la religion à l'époque. Au Moyen-Âge, la société était en partie régie par les points de vue de l'Église et quiconque s'aventurait à la remettre en cause risquait un procès et la mort.

De plus, des scientifiques parmi les plus grands de l'histoire de l'humanité comme Isaac Newton, avait vérifié ses calculs et les avait publiquement admis.

Cependant, petit à petit, des savants cherchèrent à dépasser la notion de simples calculs d'après les écrits de la Bible afin de s'aventurer dans des approches expérimentales.

# LES ÉPOQUES DE LA NATURE,

PAR MONSIEUR  
LE COMTE DE BUFFON,

*Intendant du Jardin & du Cabinet du  
Roi, de l'Académie Française, de celle  
des Sciences, &c.*

TOME PREMIER.



A PARIS,  
DE L'IMPRIMERIE ROYALE.

M. DCC. LXXX.

Mais d'où vient cette théorie ? Selon Isaac Newton et le Conte de Buffon, l'apparition de la Terre se serait faite sous la forme d'une sphère à très haute température et que notre planète très chaude qui se serait refroidie doucement en commençant par sa surface jusqu'à la température actuelle.

Le Conte de Buffon décida de déterminer la durée de refroidissement de sphères métalliques de différents diamètres portée à haute température. Il remarqua que plus la sphère était grande, plus le refroidissement était lent. Ces mesures de temps de refroidissement sur différentes sphères et leur extrapolation au diamètre de la Terre lui permirent alors d'estimer l'âge de la Terre à 10 millions d'années puisqu'il fit le choix d'une extrapolation linéaire selon le diamètre de la Terre, ce qui faussa grandement ses calculs.

Il annonça et publia finalement un résultat de 74 000 ans environ, tout en précisant que cela pouvait être faux, car d'après lui « 10 millions d'années étaient trop difficiles à se représenter pour ses lecteurs ».

Bien que le résultat soit faux, il est intéressant de voir apparaître une démarche scientifique et expérimentale pour dater l'existence de la Terre pour la première fois. Cet essai de détermination de l'âge de la Terre par l'expérience ouvre la porte à de nouvelles expériences. En effet, de nombreux savants commencent à se poser la question sur les 6000 ans de la Bible et à remettre ouvertement en doute ce point de vue.

C'est aussi à cette période que se développent deux sciences totalement nouvelles et basées sur l'étude la nature : la géologie et la biologie par l'évolution des espèces.

Une des nouvelles méthodes de datation expérimentée apparaît : l'étude des strates en géologie.



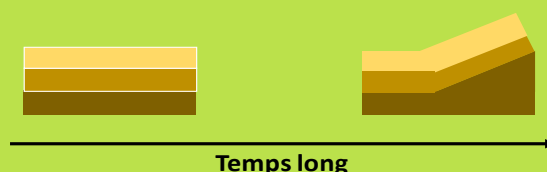
## UN PEU D'HISTOIRE

### Les fondements de la géologie.

Niels Stensen, évêque Danois au XVII<sup>ème</sup> siècle, fut l'un des fondateurs de la géologie. Il énonça plusieurs des principes fondateurs de cette science. Selon lui, « les couches de roches » sont formées successivement, avec les plus anciennes en dessous et les plus récentes au-dessus, à moins que des processus ultérieurs n'aient modifié ce principe ».

Il énonça aussi le fait que toute strate était horizontale initialement et que pour que les roches s'érodent ou que les strates bougent verticalement, il faut beaucoup de temps, bien plus que les 6000 ans de la bible ou les 74 000 ans de Buffon.

L'évolution géologique de la Terre est de nature « graduelle » c'est-à-dire qu'il faut de nombreuses années pour qu'un léger mouvement ait lieu. Ce nouveau mouvement scientifique n'arrive cependant pas à dater l'âge d'apparition de la Terre mais avance qu'il est beaucoup plus important que les chiffres annoncés à l'époque.



L'un des moyens utilisés par les géologues est la stratigraphie : Il s'agit d'observer les empilements de roches déposés par sédimentation .

Par des études expérimentales notamment dans des estuaires, les géologues observent la vitesse de cette sédimentation. Ils trouvent une valeur de 0,1 mm de sédiments déposés par an. A partir de la hauteur d'une strate ou d'un empilement, il devient possible de déterminer son âge

Les valeurs obtenues sont bien supérieures des valeurs tirées de la bible.

D'autres géologues travaillent sur le temps nécessaire pour que des reliefs soient détruits par l'érosion. Là aussi, les valeurs obtenues ne concordent pas les valeurs de l'âge de la Terre admises à l'époque selon les textes religieux.

La sédimentation et l'érosion sont deux phénomènes naturels courant sur Terre mais qu'il faut bien évidemment différencier.

Sédimentation : dépôt de diverses particules appelées sédiments, le plus souvent au fond de l'eau.

Érosion : ensemble des mécanismes permettant la destruction et l'élimination d'un ensemble rocheux.

Ces datations sont appelées « datations relatives ». Il s'agit de l'ensemble des méthodes de datation permettant d'ordonner chronologiquement des événements géologiques ou biologiques, les uns par rapport aux autres. Elle vient en complément ou opposition à une datation absolue qui elle permet d'avoir une valeur de référence.



## L'ESSENTIEL

### Datation relative vs datation absolue

La datation relative permet de déterminer l'ordre chronologique d'événements passés sans connaître réellement leurs âges.

La datation absolue permet de déterminer précisément l'âge de d'événements passés.

EN 1859, LA PUBLICATION D'UN LIVRE VA FAIRE BOUGER LES POINTS DE VUE SUR CETTE QUESTION.



## UN PEU D'HISTOIRE

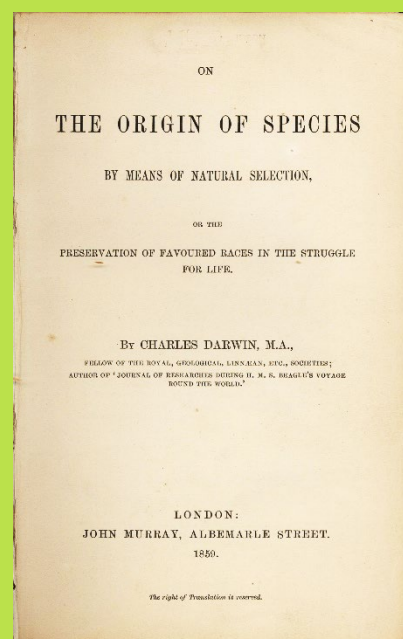
### Darwin et l'évolution des espèces.

En 1859 est publié un livre qui va changer la vision du monde sur l'origine de l'Homme.

En rendant public ses recherches dans son ouvrage « L'origine des espèces », Charles Darwin explique une évolution naturelle des espèces : les individus qui ont hérité de caractères bien adaptés à leur milieu ont tendance à mieux se reproduire que leurs congénères et à prendre le pas sur eux.

En quelques générations, une espèce peut ainsi se transformer jusqu'à donner naissance à une nouvelle espèce. Cette évolution est dite « graduelle » donc extrêmement lente, bien plus lente que les temps avancés par la Bible ou par le Comte de Buffon.

Parallèlement, une valeur de l'âge du globe est donnée et est estimée à 300 millions d'années le temps, soit le temps mis par la mer pour creuser la vallée de Weald dans le sud de l'Angleterre.





## UN PEU D'HISTOIRE

### Kelvin ou la réponse de la Physique à Darwin.

La thèse de Darwin sur l'évolution des espèces choque, divise.

Un physicien de renom décide de démontrer que celle-ci est fautive par un calcul mathématique de l'âge de la Terre. Ce scientifique est William Thomson, plus connu sous son titre honorifique Lord Kelvin.

Il reprend la même idée que le Conte de Buffon : la Terre était à l'origine une sphère de roches en fusion, qui s'est progressivement refroidie.

Il va utiliser l'équation de chaleur (ou « équation de Fourier »), qui permet de relier la variation de température d'un objet à l'évolution du temps et qui jusque-là a toujours été couronnée de succès dans son utilisation.

Il serait difficile d'expliquer simplement la formule mathématique, mais il est en tout cas possible de bien comprendre la démarche entreprise par Kelvin. Selon lui, la Terre était une boule de feu de  $3900^{\circ}\text{C}$  qui s'est refroidie aux alentours de  $20^{\circ}\text{C}$ .

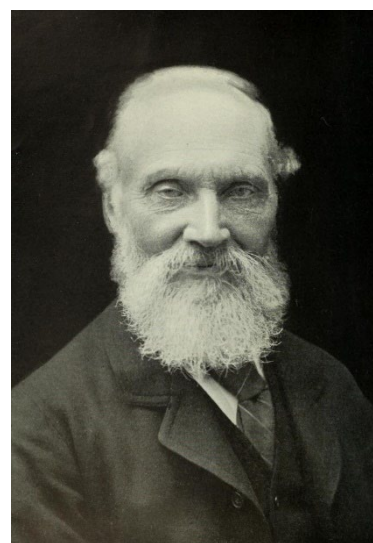
Cependant, au noyau de la Terre, la température est la même qu'à l'origine, on a alors un « gradient de température » que l'on a alors de la surface vers le cœur (c'est-à-dire une température qui évolue progressivement de  $3900^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Lord Kelvin va donc utiliser l'équation de chaleur afin de relier ce taux de refroidissement au temps. Il aboutit à une date allant de 20 à 400 millions d'années, qui sera réduite entre 20 et 40 millions d'années, car il aura estimé l'âge du Soleil à moins de 100 millions d'années.

Au XIXe siècle, cette estimation de Kelvin va être prise pour « parole d'Évangile », et largement acceptée par la communauté scientifique. En effet, dans l'esprit des gens et même des scientifiques, il n'est pas possible de remettre en cause les calculs de la physique. De plus, l'équation de la Chaleur de Fournier a jusqu'ici toujours donné les valeurs justes. Darwin lui-même retirera l'âge de la Terre dans ses rééditions de son œuvre.

Il est intéressant de voir que de nombreux savants se sont penchés sur la question de l'âge de la Terre... Des philosophes, des religieux, des physiciens, des mathématiciens, des géologues et des biologistes ont mis en commun leurs connaissances, leurs points de vue afin de faire avancer la science.

La détermination de la Terre met bien en évidence le caractère transversale (plusieurs domaines) de l'étude de l'âge de la Terre.





## JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

Bien que ces résultats soient faux, qu'apporte le Conte de Buffon par rapport aux datations grecques et catholiques ?

---

---

---

---

---

Qu'apporte l'étude des strates rocheuses et de la géologie ?

---

---

---

---

---

---

---

Sur quel principe se base Lord Kelvin pour dater la Terre ?

---

---

---

---

---

---

---

Bien que ces résultats soient faux, qu'apporte le Conte de Buffon par rapport aux datations grecques et catholiques ? Pour la 1ère fois, l'âge de la Terre n'est plus tiré de textes mais fait office d'une première approche scientifique avec une démarche scientifique, une expérience et des conclusions.

Qu'apporte l'étude des strates rocheuses et de la géologie ? L'étude des strates et de la géologie permettent de mettre en évidence que l'âge avancé par la Bible et par Buffon sont bien trop faibles. Pour en arriver à de tels édifices naturels, la Terre doit avoir un âge bien plus grand.

Cependant, la géologie ne permet pas d'avancer un âge précis.

Sur quel principe se base Lord Kelvin pour dater la Terre ? Lord Kelvin pensa que la Terre s'était refroidie progressivement. En se basant sur l'équation de la chaleur de Fournier, il a pu déterminer le temps nécessaire pour que la surface de la Terre passe de 3900°C à 20°C.



## POUR ALLER PLUS LOIN

### LE GRAND VOYAGE DE CHARLES DARWIN

Docu-fiction de Hannes Schuler et Katharina Von Flotow.

La théorie de l'évolution, qui a révolutionné les lois de la biologie jusqu'à nos jours, germe dans la tête du jeune Charles Darwin pendant un voyage de près de cinq années autour du monde. Lorsqu'il parvient à convaincre son père de le laisser embarquer à bord du Beagle, le 26 Décembre 1831. Au fil des mois et des pays traversés, il réalise que les créatures vivantes et l'homme lui-même ne pouvaient être que le fruit d'un processus d'adaptation de plusieurs millions d'années. Du Chili aux Galàpagos, en passant par la Terre de feu et l'Australie, ce documentaire-fiction entraîne le spectateur dans son sillage pour redécouvrir le monde tel que Darwin l'a vu et compris.



## L'ÂGE DE LA TERRE

### Quand la radioactivité nous donne une valeur précise

**Bien que ses calculs soient justes, Lord Kelvin s'était trompé dans ses hypothèses de départ.** Pour lui, la Terre était un unique bloc rigide sans mouvement interne. Or ceci est faux comme le découvriront par la suite les scientifiques avec la tectonique des plaques. Les résultats de Kelvin sont donc faux bien que ses calculs soient justes.

C'est la découverte de la radioactivité en 1896 par Henry Becquerel qui va débloquent la situation. La datation Uranium-Plomb (la datation au Carbone 14 ne permettant pas de dater l'âge trop ancien de notre planète) va finir d'invalider les résultats de Kelvin et proposer une autre solution.

En effet, la production de chaleur par les désintégrations radioactives invalide le modèle thermique de Lord Kelvin et le rend caduque puisque le phénomène de convection sous terre, apporte continuellement en surface de la chaleur provenant des profondeurs. L'âge de la Terre est donc plus important que la valeur de Kelvin.





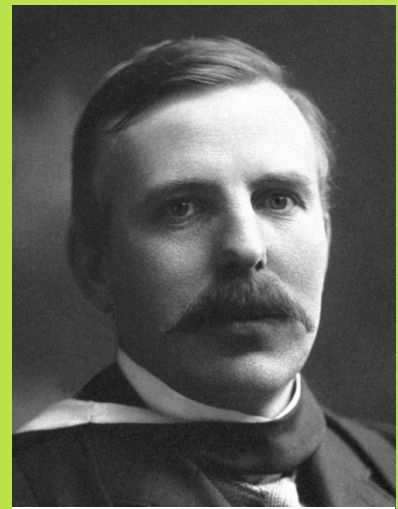
## UN PEU D'HISTOIRE

### Rutherford ou l'invalidation de la technique de Kelvin

La radioactivité fournit un nouveau moyen pour déterminer l'âge des roches. Le rapport éléments radioactifs et produits de la désintégration ne dépend en effet que du temps et constitue une horloge précise (si on connaît la proportion initiale d'éléments radioactifs).

La première tentative est basée sur la mesure de l'hélium produit par la désintégration du radium. En 1904, Ernest Rutherford attribue à un échantillon un âge de 40 Ma, qu'il révisé en 1905 à 140 Ma, puis en 1906 à 500 Ma.

Ma = million d'années



Ernest Rutherford est un physicien et chimiste, considéré comme le père de la physique nucléaire.

Mais Ernest Rutherford sait ses résultats faussés puisqu'une partie de l'hélium a été libérée dans l'atmosphère. La valeur avancée est donc sous-estimée.

## LA RADIOACTIVITE PLOMB/PLOMB OU LA VALEURS PRECISE

C'est en 1953 que l'équipe de Clair Patterson va dater notre planète par détermination de la composition isotopique des roches. Patterson va alors analyser la proportion en isotopes de plomb présente dans des fragments de météorites. Il démontre que les éléments du système solaire (des météorites à la Terre) se sont formés en même temps, à partir d'un même matériau, il y a 4,55 milliards d'années.

Par la suite les missions Apollo menées par les Etats-Unis sur la Lune, permettront de rapporter des fragments de roches lunaires qui seront datées de 4,53 milliards d'années et confirmeront l'âge de notre Terre puisque la Lune serait issue de notre planète.

Depuis quelques années, de nouvelles méthodes ont permis de préciser encore davantage ce chiffre, permettant de trouver la nature chimique de chaque atome et son état d'origine dans le matériau analysé.

Aujourd'hui, l'âge officiel est de 4,54 milliards, mais bien que la mesure déterminée soit relativement précise et malgré la modernité de nos instruments, l'âge de la Terre reste encore une estimation.



## L'ESSENTIEL

La datation de Patterson ne donne pas un âge définitif. En effet, celui-ci est une estimation, certes précise mais une simple estimation. Il est possible que dans le futur, de nouvelles études précisent ces résultats.



## JE VÉRIFIE MES CONNAISSANCES

La datation Plomb-Plomb de Patterson donne-t-elle un âge définitif à la Terre ?

.....

.....

.....

La datation de Patterson ne donne pas un âge définitif. En effet, celui-ci est une estimation, certes précise mais une simple estimation. Il est possible que dans le futur, de nouvelles études précisent ces résultats.



## **POUR ALLER PLUS LOIN**

**LA MINUTE SCIENCE – vlog scientifique**

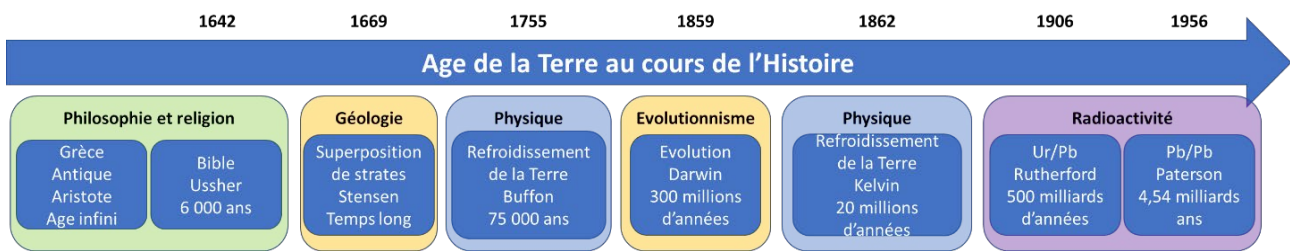
**Episode : comment avons-nous déterminé l'âge de la Terre ?**

Définir l'âge de notre planète a été un défi qui a tenu en haleine plusieurs générations de talentueux scientifiques... En 3 minutes chrono, La Minute Science revient sur les événements qui ont permis, uns à uns, de le découvrir.

**LA MINUTE SCIENCE – à retrouver sur Youtube**

# LE TEMPS DU BILAN

## ➤ Evolution de l'âge de la Terre au cours de l'histoire



Cette datation est le résultat de plusieurs centaines d'années de recherches, de techniques employées et dont les résultats sont progressivement passés de croyances à des datations absolues que les progrès techniques ont permis de mettre au point.

Ce fut un travail qui a demandé l'intervention de très nombreuses disciplines comme certaines graduelles (comme la géologie et l'évolutionnisme) et d'autres absolues (comme la physique et la radioactivité).

## ➤ Des techniques de datations absolues et relatives

Les différentes techniques utilisées peuvent être classées dans deux catégories :

- La datation relative : détermination l'ordre chronologique d'évènements passés sans connaître réellement leurs âges précis.
- La datation absolue : détermination précise de l'âge d'évènements passés.

## ➤ Un âge vérifié mais pouvant être précisé

L'âge de la Terre déterminé par la datation absolue à la radioactivité Pb/Pb a pu être vérifié lors de datations de différentes météorites ou de la Lune. L'âge de 4,54 milliards d'années est actuellement l'âge le plus précis. Cependant, si nos futurs progrès techniques le permettent, cet âge sera révisé et précisé.

## ➤ De multiples techniques mais surtout deux controverses

L'histoire de la datation de la Terre a été émaillée de deux importantes controverses.

La première opposa Darwin qui pense qu'il a fallu des temps très long (300 millions d'années) pour que la Terre prenne sa forme actuelle et Kelvin qui calcula l'âge de la Terre à 20 millions d'années environ. Au-delà de ces deux personnes, c'est un débat entre géologues (science naissante) et physiciens (science irréfutable dans les esprits à l'époque) qui eut lieu. Bien que les géologues maintinssent leurs calculs autour de 300-400 millions d'années, l'avis des physiciens prit le dessus dans l'esprit de la société puisqu'à l'époque, les calculs paraissaient justes et irréfutables.

L'avis de Kelvin fut remis en doute avec la découverte de la radioactivité. Celle-ci montra que contrairement aux dogmes scientifiques de l'époque, la Terre possède bien une source de chaleur continue dans ses profondeurs. Bien que la formule de Kelvin et ses calculs soient justes, son postulat de départ était faux. C'est ce que démontra Rutherford au début du 20ème siècle. Cette seconde controverse dura jusqu'à la mort de Kelvin en 1907 puisqu'il ne voulut jamais avouer que son résultat était faux.

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.  
Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

## EXERCICE

21

Répondez à ces quelques questions à choix multiple.

- 1) La sédimentation peut permettre la détermination l'âge de la Terre grâce à :
  - a. la vitesse d'érosion des sédiments.
  - b. la vitesse de sédimentation.
  - c. le taux de sel dans l'eau.
  - d. le nombre de sédiments présents.
  
- 2) La détermination la plus précise de l'âge de la Terre repose sur l'étude :
  - a. du refroidissement de la Terre.
  - b. de la salinité des océans.
  - c. de la radioactivité.
  - d. la lecture des textes religieux.
  
- 3) La découverte de la radioactivité qui permet la datation des roches, est due à :
  - a. Ussher.
  - b. Kelvin.
  - c. Buffon.
  - d. Rutherford.
  
- 4) La vision de l'âge infini de la Terre a été avancée par :
  - a. La Grèce Antique.
  - b. L'Égypte Antique.
  - c. Les premiers catholiques.
  - d. La Rome Antique.
  
- 5) Lord Kelvin a utilisé la même vision de la formation de la Terre que :
  - a. Charles Darwin.
  - b. James Ussher.
  - c. Le Conte de Buffon.
  - d. Aristote.
  
- 6) Une datation relative est :
  - a. Une expérimentation physique qui permet de reproduire des événements passés et de les dater.
  - b. Une détermination précise d'un âge lié à des lectures de documents anciens.
  - c. Une détermination de l'ordre chronologique d'événements passés sans connaître réellement leurs âges précis.
  - d. Une détermination précise de l'âge d'événements passés.
  
- 7) Charles Darwin a daté l'âge de la Terre dans sa première version de l'évolution à :
  - a. 300 milles ans.
  - b. 30 millions d'années.
  - c. 3 milliards d'années.
  - d. 300 millions d'années.

8) La datation par radioactivité la plus précise a été faite par :

- Kelvin.
- Comte de Buffon.
- Rutherford.
- Patterson.

9) Deux controverses majeures opposèrent plusieurs scientifiques. A chaque fois, un scientifique en fit parti. Ce scientifique fut :

- Kelvin.
- Darwin.
- Rutherford.
- Patterson.

10) La datation la plus précise de la datation de la Terre fut obtenu par la technique :

- Datation au carbone 14.
- Datation au radium.
- Datation Uranium / Plomb.
- Datation Plomb/Plomb.

## EXERCICE

22

Vrai ou Faux ?

	V / F
1) Les études sur les empilements sédimentaires invalident l'âge biblique de la Terre car les valeurs obtenues par ces études sont inférieures à l'âge avancé par Ussher.	
2) Les physiciens Newton et Kepler ont validé la date de formation de la Terre en 4004 avant Jésus-Christ.	
3) Buffon détermine l'âge de la Terre par le temps de refroidissement de boules métalliques à 10 millions d'années mais il choisit de publier 74 000 ans car il pensait que ces lecteurs n'arriveraient pas à visualiser un temps si long.	
4) Kelvin a reconnu son erreur dans la datation de la Terre et a adoubé Rutherford.	
5) Darwin a tout de suite été adoubé par les scientifiques du monde entier lors de sa datation de la Terre.	
6) La datation de la Terre n'a été le travail que de physiciens et mathématiciens.	
7) L'âge de la Terre défini aujourd'hui est un âge définitif et sa précision ne pourra pas être améliorée par de nouveaux progrès technologiques.	
8) La géologie et l'évolution des espèces sont des techniques de datation relative.	
9) La datation absolue est une technique de datation qui permet d'avoir un âge précis de l'élément daté.	
10) Le Comte de Buffon n'a pas directement déterminé l'âge de la Terre. Il a déterminé le temps de refroidissements de différentes boules métalliques chauffées puis il a extrapolé ses résultats à une sphère de la taille de la Terre.	

## EXERCICE

23

Associez à chaque personnalité son argumentation pour la détermination de l'âge de la Terre.

- |            |   |   |                          |
|------------|---|---|--------------------------|
| Buffon     | • | • | Texte religieux          |
| Rutherford | • | • | Evolution biologique     |
| Ussher     | • | • | Radioactivité            |
| Darwin     | • | • | Temps de refroidissement |

## EXERCICE

24

**Etude de texte (J'applique la méthodologie du module 1)**

« Au printemps de 1904, Rutherford partit à Londres pour donner une conférence à la Royale Institution » ... « Rutherford, muni de sa pechblende, venait parler de sa nouvelle théorie de la désintégration de la radioactivité. Avec tact – le vieux Kelvin étant présent bien que pas très réveillé -, il signala que Kelvin avait lui-même suggéré que la découverte d'une autre source de chaleur ruinerait tous ses calculs. Rutherford avait découvert cette source de chaleur. Grâce à la radioactivité, la Terre pouvait être – était même à l'évidence – bien plus vieilles que les 24 millions d'années que Kelvin lui avait alloués.

Kelvin accueillit avec d'un sourire rayonnant le témoignage de respect de Rutherford mais resta de marbre. Il n'accepta jamais de réviser ses chiffres et crut jusqu'à son dernier souffle que ses travaux sur l'âge de la Terre était sa plus grande contribution à la science – bien plus que ses travaux sur la thermodynamique ».

Extrait de « Une histoire de tout, ou presque... » de Bill Bryson de 2007

**En vous appuyant sur le texte et sur vos connaissances, décrivez les différences entre les deux théories de ces scientifiques.**

## EXERCICE

25

**Etude de document : Les temps de refroidissement, extrait de Histoire de l'âge de la Terre , Hubert Krivine en 2011.**

« Kelvin part du même modèle que Buffon : ce qu'il appelle « début de la Terre » (conditions initiales) est une boule à la température uniforme de la roche en fusion, évaluée à 3 900 °C. Très rapidement la température de sa surface, en contact avec le vide extérieur (ce qu'on appelle les conditions aux limites), se stabilise à un niveau raisonnable, de l'ordre de 20 °C. On le sait parce que la vie s'est développée depuis fort longtemps et exige une température stable de ce niveau. Au centre de la Terre par contre, la température, par inertie thermique, conserve grosso modo sa valeur initiale. Donc, entre la surface de la Terre et son intérieur, il y aura un continuum de température qui va de 20 °C à 3 900 °C. On constate aujourd'hui que lorsqu'on s'enfonce sous la Terre on gagne en moyenne de l'ordre de 3 °C tous les 100 mètres. À la naissance de la Terre, ce gradient était beaucoup plus élevé, presque infini : on passait très rapidement – c'est-à-dire sur une très courte distance – de la température (basse) de surface à la température (élevée) du cœur ; puis le froid, petit à petit, gagne les profondeurs et le gradient diminue, pour atteindre sa valeur actuelle. La façon dont ce gradient diminue avec le temps peut être déterminée théoriquement grâce à l'équation de Fourier : si on connaît les conditions initiales et les conditions aux limites, on en déduit le temps nécessaire pour faire baisser le gradient de température jusqu'à sa valeur actuelle. »

« Pour être complet il faut ajouter que cette équation ne fournit l'évolution de la température que si on suppose la Terre rigide, c'est-à-dire sans transport possible de matériaux internes. Kelvin pensait avoir démontré la validité de cette hypothèse par des considérations astronomiques. En tenant compte des incertitudes sur les conditions initiales, sur les conditions aux limites et sur  $\kappa$ , Kelvin aboutit en 1863 à la fourchette 20-400 millions d'années. Il faut comprendre pourquoi cette affirmation a été prise pour parole d'Évangile : la validité de l'équation de Fourier, toujours testée avec succès, semble impossible à mettre en défaut ; elle avait presque la même autorité que la loi de la gravitation. »

**En vous appuyant sur ce document et sur vos connaissances, expliquez l'erreur effectuée par Lord Kelvin dans sa démonstration.**

## EXERCICE

26

**Etude de document : L'âge biblique dans Histoire de l'âge de la Terre par Hubert Krivine.**

Extrait de [http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2011/03\\_Krivine.pdf](http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2011/03_Krivine.pdf)

« Pour Aristote, la Terre a toujours existé, tandis que les grandes religions monothéistes (juive, chrétienne et musulmane) introduisirent une création du monde. Notons qu'à la différence de la chronologie moderne, il s'agissait de l'apparition quasi-simultanée de l'Univers, de la Terre, des plantes, des animaux, du genre humain.

Pour les savants de la Renaissance, le récit biblique, incontestable, était la seule base de calcul possible. La Bible contient une chronologie détaillée des premières générations : Adam a vécu 930 ans, il enfanta Seth à l'âge de 130 ans, qui engendra Énoch à 105 ans, qui engendra Qénân à 90 ans, etc. Il est alors facile de déduire la date de naissance de Noé : 1 056 ans après la création. Comme Noé avait 600 ans quand arriva le Déluge, ce dernier est daté de 1 656 ans après la Création. Abraham naît 292 années plus tard. Jusque-là, la précision est totale. Ensuite la chronologie est beaucoup plus floue. Il faut alors la raccorder à l'histoire profane, supposée véridique, du règne de Nabuchodonosor II au VI<sup>ème</sup> siècle av. J.-C.

Donnons quelques dates de naissance établies sur cette base : 3993 av. J.-C., selon Johannes Kepler (1571-1630), 3998 av. J.-C., selon Isaac Newton (1643-1727), 4004 av. J.-C., selon l'archevêque anglican James Ussher, et plus précisément encore le 23 octobre. »

**En vous appuyant sur ce document et sur vos connaissances, expliquez comment deux grands scientifiques tels que Newton et Kepler ont pu valider les calculs bibliques.**

EXERCICE

27

### **Exercice : Joly ou la détermination de l'âge de la Terre par le taux de salinité des océans**

John Joly a essayé de calculer l'âge de la Terre en 1899, à partir de la salinité des océans.

L'hypothèse de départ est que l'eau des océans est salée et que les sels minéraux sont apportés par l'érosion des continents et l'apport des rivières.

Pour faire ses calculs, John Joly se base sur la concentration en sodium selon les valeurs suivantes : la salinité de l'océan est de 3,5% en masse, dont 77,758% de sel NaCl.

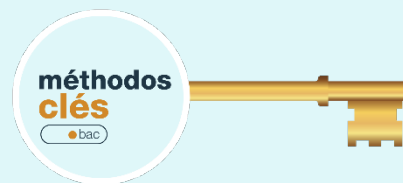
Dans le sel NaCl, le Na constitue 39,32% de la masse.

Par ailleurs on connaît aussi la masse des océans, qui est de  $1,3245 \times 10^{18}$  tonnes. D'autre part, le flux total des rivières est de  $2,7176 \times 10^4 \text{ km}^3$  d'eau par an, avec une concentration en sel de  $5\,250 \text{ t/km}^3$ .

- 1) Calculez la masse de sel dans les océans.
- 2) Calculez la masse de sel de type NaCl dans les océans.
- 3) Calculez la masse d'ions sodium dans les océans.
- 4) Calculez la masse du flux des rivières des rivières par an.
- 5) Sachant que l'âge de la Terre à partir de la salinité est défini par John Joly par la formule

$$Age = \frac{\text{Masse de l'ionsodium dans les océans}}{\text{Masse issue du flux des rivières par an}}, \text{ déterminez l'âge de la Terre.}$$

- 6) Pourquoi est-il inférieur à la véritable valeur de l'âge de la Terre ?



## FORMULATION D'UNE ARGUMENTATION SCIENTIFIQUE À PARTIR DE CONNAISSANCES DU COURS

Lors d'une restitution organisée de connaissances, à la suite de l'introduction sur laquelle nous venons de travailler dans le chapitre 1, il va être nécessaire de formuler un développement lié à une problématique scientifique que vous aurez énoncé. Ce développement vise à amener le lecteur à la même conclusion que vous sur ce questionnement, il va donc être nécessaire d'argumenter en vous basant sur vos connaissances du cours et pourquoi pas celles issues de votre culture générale.

Une argumentation est souvent malheureusement mal maîtrisée des étudiants. Bien trop souvent, leurs réponses sont non-développées et tiennent en une phrase. L'objectif de ce point méthodologie va être d'étudier ensemble une argumentation, de recenser des connecteurs logiques puis différents exemples et applications seront alors travaillées.

### **Mais qu'est-ce qu'une argumentation ?**

L'argumentation est avant tout un ensemble d'arguments organisés dans l'objectif d'apporter une réponse à une problématique posée.

### **Comment argumente-t-on ?**

La première étape de ce type d'exercice est d'analyser la question, la comprendre, la « décortiquer », définir les mots-clés. Pour cela, il est possible de se poser des « sous-questions » afin de construire une réponse construite. Cette étape peut se faire au brouillon mais devra le jour de l'examen se faire mentalement et rapidement.

Une fois la problématique ou le questionnement analysé, il faut alors définir les arguments qui vont être exploités. Ils doivent être pertinents et devront être développés lors de l'argumentation. Ces arguments sont issus du cours, de l'actualité mais aussi de votre culture générale. Ils devront s'organiser de manière logique au cours de votre réponse.

Une fois les arguments définis, il est nécessaire d'apporter une réponse construite au questionnement. Pour rappel, l'idée est que le lecteur lisant votre réponse arrive naturellement à la même réponse que vous.

### **La composition d'une argumentation.**

La réponse sera composée en trois temps :

- Une première phrase reposera sur l'analyse de la problématique et du questionnement.
- Une seconde partie proposera une argumentation scientifique.
- Une dernière phrase sera un mini-conclusion à cette problématique.



### **Les connecteurs logiques.**

Entre ces parties, il ne faut pas hésiter à utiliser des liens logiques comme :

<b>Relation logique</b>	<b>Connecteurs / Mots de liaisons</b>
Addition	Et ; de plus ; outre ; par ailleurs ; de surcroit ; d'une part... d'autre part ; puis ; enfin ; voire ; mais encore ...
Classer	Premièrement... Puis... Pour finir ; Tout d'abord... Ensuite... Enfin ou pour finir ...
Opposition	Mais ; cependant ; en revanche ; pourtant ; toutefois ; or
Cause	Car ; parce que ; à cause de ; comme ; étant donné que ...

### **Exemple d'argumentation**

Travaillons ensemble sur un exemple construit dont la problématique est la suivante : « L'âge défini à 4,54 milliards d'années est l'âge définitif de la Terre ».

#### **Analysons de la question.**

- Quelle est la thématique ?

La thématique est l'âge de la Terre.

- Quels sont les mots-clés ?

Les mots-clés sont « Terre », « âge définitif » et « 4,54 milliards d'années ».

- Que sous-entend la problématique ?

La problématique sous-entend ici que l'âge actuel de la Terre est de 4,54 milliards d'années et que cet âge est définitif, qu'il ne peut pas être plus précis.

- Quels liens avec le cours à placer ?

Cet âge de 4,54 milliards d'années est à relier à Patterson avec la datation Plomb-Plomb après plusieurs essais et progrès.

- Quelles limites à la problématique ?

L'histoire de la datation de la Terre et surtout la partie récente de celle-ci montre une évolution liée aux progrès du savoir et aux moyens technologiques. Les avancées technologiques (avec l'apparition de la radioactivité) ont permis d'améliorer la précision des mesures.

Une fois l'analyse finie, établissons une liste d'arguments :

- L'âge actuel de la Terre est déterminé par radioactivité plomb-plomb et est actuellement de 4,57 milliards d'années.
- Ce n'est pas un âge définitif comme le montre l'histoire de la datation de la Terre, surtout l'histoire récente où depuis Rutherford en 1903 l'âge de la terre a été précisée à de multiples reprises passant de 40 millions d'années en 1903, à 500 millions d'années en 1906 puis 4,53 milliards d'années en 1953 à l'âge actuel quelques mois plus tard.
- La justesse de l'âge est liée à la précision de la technique utilisée.

#### **Proposition de réponse.**

La problématique pose la question de l'âge définitif de la Terre à une valeur de 4,54 milliards d'années. Cet âge correspond bien aux dernières mesures faites dans les années 50 par Patterson. Il s'agit donc actuellement des mesures les plus précises. Mais on ne peut pas parler d'âge définitif. En effet, l'histoire de la datation de la Terre montre une évolution de la précision de l'âge liée au savoir scientifique mais aussi aux progrès technologiques. Par exemple, avec l'amélioration des techniques de radioactivité, l'âge est passé de 40 millions d'années en 1903, à 500 millions d'années en 1906 puis 4,54 milliards d'années en 1953. On voit donc que la précision de cet âge évolue avec les progrès techniques. Il est donc possible que dans les années à venir l'âge de la Terre soit encore précisé.



### A votre tour : pas à pas.

Sujet : « Comment Newton s'est-il trompé dans la datation de l'âge de la Terre en validant les 6000 ans de la Bible ? »

- Quelle est la thématique ?

**La thématique est l'âge de la Terre.**

- Quels sont les mots-clés ?

**Les mots-clés sont « Âge de la Terre de 6000 ans », « datation », « Bible », « Erreur » et « Newton ».**

- Que sous-entend la problématique ?

**La problématique sous-entend ici que Newton, un éminent scientifique, s'est trompé en validant l'âge de la Terre défini par James Ussher en se basant sur la Bible.**

- Quels liens avec le cours à placer ?

**Il est d'abord important de parler de l'âge de 6000 ans défini par James Ussher en lisant la Bible. Il faut ensuite préciser que Isaac a en effet recalculé l'âge trouvé en additionnant les âges mentionnés dans la Bible. Il est aussi envisageable de faire un lien entre Isaac Newton et ses lois de mécanique vues mais aussi avec la géodésie (la science qui étudie la forme de la Terre) où il prouva que la Terre était légèrement plus aplatie au niveau des pôles.**

- Quelles limites à la problématique ?

**Reprocher à Isaac Newton cette erreur revient à négliger la puissance de l'Eglise au Moyen-Âge comme nous le verrons par la suite avec Galilée. Isaac Newton s'est d'ailleurs appuyé sur les chiffres donnés par la Bible. Ses calculs étaient donc juste mais la source surement beaucoup moins.**

Une fois l'analyse finie, établissons une liste d'arguments :

- **L'âge de 6000 ans est celui avancé par James Ussher et basé sur les extraits de la Bible.**
- **Isaac Newton a en effet recalculé l'âge de la Terre en se basant sur les personnages historiques de la Bible et a lui-même validé l'âge de 6000 ans.**
- **Isaac Newton est un éminent scientifique dont la contribution à la science est très importante. Il a notamment prédit des lois mécaniques encore utilisées de nos jours (comme le principe d'inertie) et a été le premier à annoncer que la Terre n'était pas une sphère parfaite mais légèrement aplatie au niveau des pôles.**
- **L'erreur que fait Isaac Newton est de se baser sur des textes religieux dont les âges avancés n'ont pas pu être vérifiés. Le calcul effectué est cependant juste.**

Possible réponse :

**La problématique de cette question est de se demander comment un éminent scientifique comme Isaac Newton à qui on doit des lois de mécanique comme le principe d'inertie ou des avancées en géodésie, a-t-il pu se tromper ? L'âge de 6000 ans a été annoncé par James Ussher (création de la Terre en -4004 avant Jésus-Christ) en se basant sur les écrits de la Bible et demeura pendant de nombreuses années l'âge officiel de la Terre. Isaac Newton vérifia lui-même les calculs en ajoutant les âges des différents personnages historiques cités dans la Bible. L'erreur de la datation de la Terre d'Isaac Newton ne vient donc pas de ses calculs qui sont bien évidemment justes mais de la véracité de sa source. Par ailleurs, une autre raison de son erreur est possible : l'importance de l'Eglise au Moyen-âge où sa parole ne pouvait pas être remise en cause sous peine de prison voir de mort.**

**EXERCICE****28**

Sujet : « Lord Kelvin s'est totalement trompé dans sa datation de l'âge de la Terre ».

**EXERCICE****29**

Sujet : « L'effet de serre est entièrement néfaste pour la vie et la faune terrestre ».

**EXERCICE****30**

Sujet : « La datation au carbone 14 est la méthode de datation la plus précise pour dater n'importe quel échantillon organique ».



Vous pouvez maintenant  
faire et envoyer le **devoir n°1**

