



Expériences en sciences de la Terre

Mai 2003

Table des matières

LE CYCLE DE L'EAU	3
Evaporation	3
La vapeur d'eau	3
La condensation.....	4
La convection naturelle	4
Créer un nuage.....	5
Faire de la pluie	5
LES PROPRIETES DE LA GLACE	6
Le volume de la glace.....	6
Le fil de fer qui traverse la glace.....	6
LE MOUVEMENT DES GLACIERS	7
Le mouvement des glaciers	7
LA GELIFRACTION.....	8
Briser une roche.....	8
LES ICEBERGS	9
Formation des icebergs	9
CLIMAT POLAIRE ET RAYONNEMENT SOLAIRE	11
Etalement du rayonnement solaire	12
La nuit polaire	12
L'albédo.....	13
L'EFFET DE SERRE.....	14
La boîte à effet de serre.....	14
CONSERVATION DE LA CHALEUR.....	15
Tester des récipients qui conservent la chaleur	16
S'ISOLER DU FROID.....	17
Une couche d'air isolante.....	18
CONSTRUIRE UNE STATION METEOROLOGIQUE	18
Le thermomètre.....	19
Le pluviomètre	20
Le baromètre à air	21
Le baromètre à eau	21
La girouette.....	22
L'anémomètre.....	24
L'hygromètre	25
LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL	30
Suivi du mouvement apparent du soleil.....	30
TRANSPORT DE LA NEIGE DERRIERE UNE MONTAGNE.....	31
Soufflerie expérimentale	32
LA LONGITUDE ET LA LATITUDE.....	32
Gnomon	33
Mesure de la longitude	34
Quadrant	36
Mesure de la latitude	36
LE CHAMP MAGNETIQUE DE LA TERRE	37
Visualisation des lignes d'un champ magnétique	38
La boussole d'inclinaison	38

Le cycle de l'eau

Objectif : notions d'évaporation et de condensation, formation des nuages.

Toute l'eau à la surface de la terre est perpétuellement en circulation dans ce que l'on appelle le Cycle de l'eau.

Le soleil chauffe les océans, les lacs, les rivières. A la surface de ces étendues d'eau apparaît alors le phénomène d'évaporation : l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux (la vapeur d'eau). C'est une manifestation uniquement de surface, au contraire de l'ébullition où, l'eau ayant atteint 100°C, de la vapeur d'eau se forme dans tout le liquide.

Evaporation

Visualisation de l'évaporation de l'eau à la surface de la Terre.

Matériel nécessaire

- Deux assiettes.

Marche à suivre

- Dans la classe, mettre deux assiettes remplies d'eau sur une table au bord d'une fenêtre.
- Laisser une au soleil, fermer le rideau sur l'autre.

L'eau de la première va s'échauffer plus rapidement et le niveau du liquide va baisser. Cette disparition de l'eau met en évidence l'évaporation qui existe à la surface de la Terre.

Au cours de cette évaporation l'eau se transforme en vapeur, c'est à dire qu'elle passe de l'état liquide à l'état gazeux et cela en consommant de l'énergie. L'air contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau, mais comme elle est invisible et incolore on a que des indices de sa présence, par exemple la vapeur d'eau qui se condense en buée l'hiver sur les fenêtres ou sur les lunettes quand on entre dans un bus. On peut facilement mettre en évidence la présence de vapeur d'eau dans l'air :

La vapeur d'eau

La vapeur d'eau est invisible, mais on peut prouver sa présence en l'obligeant à se condenser.

Matériel nécessaire

- Un verre.

Marche à suivre

- Mettre le verre plus d'une heure dans le réfrigérateur, puis le sortir.
ou
- Remplir le verre d'eau très froide et de glaçons.

On voit alors que de petites gouttes d'eau apparaissent sur les bords, c'est de la vapeur d'eau contenue dans l'air qui, au contact d'une surface froide, se condense pour redevenir de l'eau liquide. La condensation est le phénomène inverse de l'évaporation, l'eau à l'état de gaz passe à l'état de liquide.

Cette expérience prouve donc qu'il y a bien dans l'air de l'eau sous la forme de vapeur.

L'air ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Cette quantité maximale est d'autant plus grande que la température est élevée. L'air est dit saturé quand il contient son maximum de vapeur, la vapeur d'eau en excès passe alors à l'état liquide, il y a condensation.

C'est cette caractéristique physique qui explique l'expérience précédente, mais aussi la formation du brouillard, de la rosée, ou de la buée sur les vitres : de l'air chaud et humide est mis en présence d'une surface froide, il se refroidit et ne peut plus alors contenir autant de vapeur, l'excédent se transforme donc en eau liquide (en suspension dans l'air pour le brouillard). C'est aussi le jet de condensation que l'on expère l'hiver.

La condensation

Visualisation de la condensation.

Matériel nécessaire

- Une casserole.
- Une assiette.
- Une grande pince en bois.
- Un réchaud.

Marche à suivre

- Faire bouillir de l'eau dans la casserole.

Le panache qui s'élève n'est pas de la vapeur d'eau, qui est invisible, mais des gouttelettes d'eau en suspension créées au moment où l'air chaud et humide sortant de la casserole se refroidit et se condense.

- Saisir l'assiette par la pince et la maintenir dans le panache au dessus de la casserole. Des gouttelettes d'eau se forment dessus par condensation, on récupère alors de l'eau provenant de la casserole !

L'air humide et chaud au dessus des étendues d'eau s'élève verticalement dans l'atmosphère car il est moins lourd (moins dense) que l'air plus froid qui l'entoure, c'est la convection naturelle. On l'observe lorsqu'on voit la fumée d'une cheminée ou que l'air chaud qui s'échappe d'un radiateur semble brouiller la vision. On peut visualiser ce phénomène par l'expérience suivante :

La convection naturelle

Visualisation du mécanisme qui met en mouvement l'air verticalement dans l'atmosphère.

Matériel nécessaire

- Un récipient en pyrex (verre transparent).
- Des confettis ou du marc de café.
- Un réchaud.

Marche à suivre

- Remplir le récipient d'eau.
- Mettre les confettis (ou des particules de marc de café) au fond de l'eau.
- Faire chauffer l'eau sur le réchaud et observer.

La couche d'eau la plus proche de la source de chaleur va s'échauffer, puis s'élever au centre du récipient et emporter les confettis qui permettront de visualiser le mouvement. Arrivée à la surface, cette eau se refroidit et elle est poussée vers les bords par l'eau chaude qui continue à monter, puis elle redescend et reprend le cycle. Les courants de convection vont s'établir et seront visibles grâce aux confettis, ils donnent une assez bonne idée de ce qui se passe dans l'atmosphère.

Lorsque l'air humide s'élève dans l'atmosphère, il y rencontre des températures de plus en plus basses et se refroidit. Quand l'air atteint son point de saturation, l'excès de vapeur d'eau se condense et forme des nuages, qui sont donc constitués de fines gouttelettes d'eau en suspension.

Créer un nuage

Visualisation de la formation d'un nuage dans une bouteille.

Matériel nécessaire

- Une bouteille.
- Un gros glaçon.
- Une feuille de carton noir.

Marche à suivre

- Faire chauffer de l'eau.
- Remplir la bouteille avec l'eau chaude. Laisser l'eau dedans pendant plusieurs minutes.
- Vider la plus grande partie de l'eau.
- Placer le carton noir derrière la bouteille (il doit permettre une meilleure observation du phénomène).
- Poser le glaçon sur le goulot.
- Observer : l'air chaud et humide s'élève jusqu'à rencontrer l'air froid sous le glaçon, la vapeur d'eau se condense alors pour former un nuage que l'on doit plus ou moins bien visualiser.

Les nuages sont formés de gouttelettes d'eau, d'un diamètre d'environ 0,01 mm, qui sont suffisamment légères pour rester en suspension. Si elles s'agglomèrent entre elles ou autour de poussières, et atteignent un diamètre d'au moins 0,1 mm : elles tombent, c'est la pluie. Dans leur chute, elles continuent à se grouper pour atteindre le diamètre moyen de 0,5 à 5 mm de la pluie au niveau du sol. Si l'atmosphère est froide les précipitations tombent, comme en Antarctique, sous la forme de paillettes de cristaux de neige.

Faire de la pluie

Provoquer une petite pluie artificielle.

Matériel nécessaire

- Une cuillère.
- Une bouilloire.

Marche à suivre

- Mettre la cuillère un long moment dans un congélateur.
- Faire chauffer de l'eau dans la bouilloire.
- Sortir la cuillère du congélateur. Attention, la tenir avec un gant de cuisine sinon elle va adhérer à la peau !
- Ouvrir le bec de la bouilloire et placer la cuillère horizontalement dans le jet de vapeur qui s'échappe.

Au contact de la cuillère froide, la vapeur va se condenser et des gouttelettes d'eau vont se former. Certaines vont glisser sur le dos de la cuillère, s'agglomérer, augmenter de taille et de poids, puis elles tomberont par gravité en pluie.

Une fois au sol, les précipitations s'infiltreront dans la terre pour rejoindre une rivière, un fleuve, puis l'océan où l'eau reprendra son cycle en s'évaporant. Dans le cas de la neige qui tombe sur la calotte polaire de l'Antarctique, un glacier l'amènera doucement vers la côte sous forme de glace et elle retrouvera l'océan dans un iceberg au bout de plusieurs centaines de milliers d'années.

Les propriétés de la glace

Objectif : propriétés de l'eau sous sa forme solide.

La glace que l'on fabrique dans le congélateur est de l'eau à l'état solide, alors que celle du glacier provient de la compression de la neige. Elles n'ont pas la même origine et celle du glacier contient de minuscules bulles d'air, mais elles ont des propriétés proches

Prenons de l'eau, si on baisse sa température et que l'on atteint son point de congélation (0°C pour l'eau pure, -1,8 °C pour l'eau de mer), elle passe de l'état liquide à l'état solide que l'on appelle glace. Ce changement d'état correspond à une transformation des molécules de l'eau : à l'état liquide elles roulent les unes contre les autres, à l'état solide elles sont accrochées les unes aux autres formant un réseau fixe (hexagonal).

Nous allons voir deux propriétés de l'eau et de la glace.

Tout d'abord, lorsque l'eau se congèle elle se dilate et augmente de volume sans changer de poids.

Le volume de la glace

Visualisation de la dilatation de l'eau lors de sa transformation en glace.

Matériel nécessaire

- Une bouteille en verre.
- Une balance.
- Un congélateur.

Marche à suivre

- Verser de l'eau dans la bouteille, la remplir à moitié.
- Faire une marque au niveau de l'eau.
- Peser l'ensemble.
- Mettre la bouteille verticale dans un congélateur sans la fermer.
- Quand l'eau est gelée (au moins 24 heures dans un congélateur familial), observer que le niveau est au dessus de la marque. Le volume de l'eau a augmenté en passant de l'état liquide à l'état solide, il y a eu dilatation.
- Peser à nouveau l'ensemble : le poids est le même alors que le volume est plus important

On peut en plus remplir complètement d'eau une bouteille en plastique, la fermer, la mettre au congélateur et observer que la bouteille s'est fendue ou brisée.

Autre propriété, le point de congélation et donc de fusion de la glace baisse lorsque la pression exercée augmente.

Le fil de fer qui traverse la glace

Un tour de passe-passe qui met en évidence l'action de la pression sur la température à laquelle l'eau gèle.

Matériel nécessaire

- Un fil métallique (fil de fer, câble de frein d'un vélo ...).
- Deux poids assez lourds.
- Un bloc de glace ou un gros glaçon.

- Un congélateur.

Marche à suivre

- Accrocher les poids aux extrémités du fil métallique.
- Poser le fil sur le glaçon. Les poids pendent de chaque côté, il faut donc installer le glaçon sur un support suffisamment étroit.
- Placer l'ensemble à l'extérieur si il gèle, sinon dans un congélateur ou une chambre froide à moins de 0°C.
- Observer de temps en temps : le fil de fer va petit à petit traverser le glaçon sans que celui-ci soit coupé en deux !

L'explication vient du fait que le fil exerce une pression importante sur la glace. Cette pression abaisse localement la température de congélation de l'eau et la glace fond sous le fil. Il la traverse donc progressivement, mais comme derrière lui l'eau se re-solidifie sous l'action du gel, le glaçon ne se coupe pas en deux.

Le mouvement des glaciers

Objectif : visualiser le mouvement d'un glacier en classe.

Les glaciers sont des fleuves de glace qui s'écoulent entre les montagnes. En Antarctique, il en existe aussi qui sont en mouvement dans des vallées de glace au cœur de la calotte polaire, ce sont les « *ice-streams* ». Comment un glacier se déplace ?

On a vu dans une autre expérience que la glace a la propriété de fondre à une température plus basse que 0°C quand elle est soumise à une pression. C'est ce principe qui explique en partie le mouvement d'un glacier sur une pente.

En effet, comme la glace en contact avec le sol subit une pression élevée due à la masse totale du glacier, elle fond et crée un film d'eau lubrifiant qui permet au glacier de glisser sur la pente sous la force de la pesanteur.

Le mouvement des glaciers

Visualiser le mouvement de la glace sur une pente.

Matériel nécessaire

- Deux récipients rectangulaires identiques.
- Un congélateur.
- Un objet lourd.
- Un plan légèrement incliné. La glace doit pouvoir, dans un premier temps, adhérer à sa surface.

Marche à suivre

- Mettre une même quantité d'eau dans les deux récipients et les placer dans un congélateur.
- Lorsque l'eau est complètement congelée, sortir les récipients et extraire les deux blocs de glace.
- Placer les deux blocs de glace en haut du plan incliné. Poser l'objet lourd sur un des deux blocs. Malgré les manipulations les blocs doivent être immobiles au début de l'expérience.
- Observer.

La pression sur le bloc supportant l'objet lourd est plus grande, la fonte de la couche de glace au contact avec le plan incliné y sera donc plus rapide. Par gravité, ce bloc va donc amorcer sa descente en premier grâce au film d'eau qui s'est créé.

La gélifraction

Objectif : mettre en évidence le phénomène de gélifraction qui contribue à l'érosion progressive des montagnes et à la formation des couloirs d'éboulis.

On peut faire éclater une bouteille d'eau simplement en la plaçant dans un congélateur. En effet, en gelant l'eau se dilate et exerce une force sur la bouteille qui ne peut résister. Il se passe la même chose avec les roches en montagne, c'est la gélifraction.

En altitude, au printemps et à l'automne, le gel attaque peu à peu les parois rocheuses par un processus assez simple. La neige fond pendant la journée et de l'eau s'infiltré dans les roches poreuses, les trous, les fissures, jusqu'à remplir tous les espaces vides. Une fois la nuit venue, comme la température chute, cette eau gèle et augmente de volume. Pour se faire de la place la glace exerce alors depuis l'intérieur une importante force sur la roche qui provoque des fractures. Lorsque le jour revient la température augmente et les parties disjointes qui ne tenaient plus que par la soudure du froid se fragmentent. Plusieurs cycles de gel-dégel briseront donc complètement la roche et provoqueront à terme des éboulis.

Une expérience dans la classe va mettre en évidence ce phénomène.

Briser une roche

Visualiser le phénomène d'éclatement des roches sous l'action combinée de l'infiltration de l'eau et du froid.

Matériel nécessaire

- Un morceau de schiste (roche composée de feuillets) d'environ 3 × 5 cm et de 0,5 cm d'épaisseur.
- Un morceau de craie de 200g.
- Deux assiettes.
- Deux récipients.
- Un congélateur.

Marche à suivre

- ①
 - Placer le morceau de schiste dans le récipient rempli d'eau et le laisser tremper une journée.
 - Sortir le schiste de l'eau, le poser sur une assiette et le mettre dans un congélateur.
 - Retirer la roche du congélateur après au moins 6 heures.
 - Placer l'échantillon sur son assiette au soleil ou devant une source de chaleur.
 - Observer.

L'eau s'infiltré entre les feuillets et dans les fissures du schiste. En gelant puis en repassant à l'état liquide, l'eau va fragmenter l'échantillon en plusieurs morceaux et en poussières. Si ce n'est pas le cas, il faut répéter la manipulation plusieurs fois.

- ②
 - Placer le morceau de craie dans le deuxième récipient d'eau et le laisser tremper une journée.
 - Mettre ensuite le récipient d'eau avec la craie dans un congélateur.

- Retirer l'ensemble après 12 heures et placer la craie dans son eau au soleil ou devant une source de chaleur.
- Observer.

La craie est une roche poreuse, l'eau s'infiltré dans une multitude de minuscules trous. L'échantillon doit se fracturer dès la première fois en plusieurs morceaux. Si on répète la procédure, on obtiendra la réduction totale de la craie en particules fines sous la forme d'une boue blanche.

Les icebergs

Objectif : comprendre la formation des icebergs.

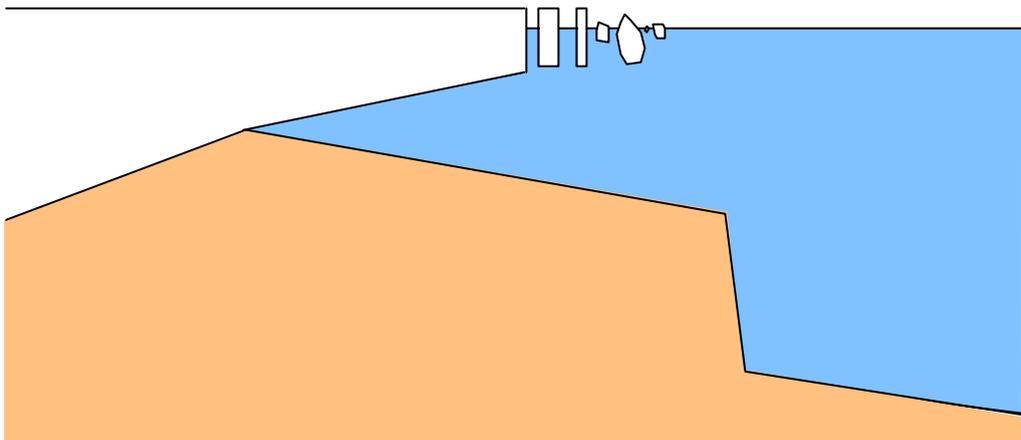
Les icebergs font partie des images emblématiques de l'Antarctique, nous proposons ici une expérience pour visualiser leur formation puis une activité questions-réponses sur leur dynamique.

Comment se forment les icebergs ?

Les glaciers de la calotte polaire Antarctique drainent la glace de l'intérieur du continent vers l'océan. Lorsque la glace atteint l'eau elle flotte et ainsi il se crée des immenses plate-formes qui restent accrochées au continent, ce sont les « *ice shelf* ». Les plate-formes de glace les plus petites font quelques centaines de km² mais la plus *grande*, « *l'ice shelf de Ross* », a une superficie équivalente à la France.

L'extrémité océanique des plate-formes de glace flottante, plus mince, est fragilisée et attaquée par l'eau, des fractures se font et régulièrement de petits morceaux se détachent pour partir à la dérive : l'ice shelf vèle des « *icebergs* ». Ils ont des tailles variables, mais ces dernières années certains avaient une longueur de plus de 200 km. Leur dérive autour de l'Antarctique durera deux ou trois années durant lesquelles l'eau de mer les rongera petit à petit.

Pour plus d'informations sur les icebergs géants de l'Antarctique, voir la page suivante sur le site du « *British Antarctic Survey* » : http://www.nerc-bas.ac.uk/public/icd/bas_publ.html



Création d'icebergs à l'extrémité d'un ice-shelf

Formation des icebergs

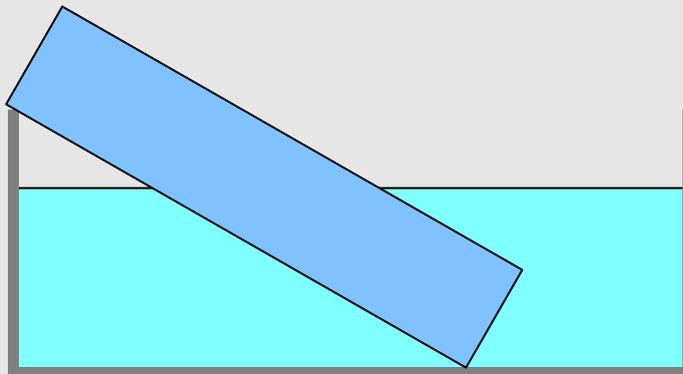
Visualiser la formation des icebergs à partir d'une plate-forme de glace flottante.

Matériel nécessaire

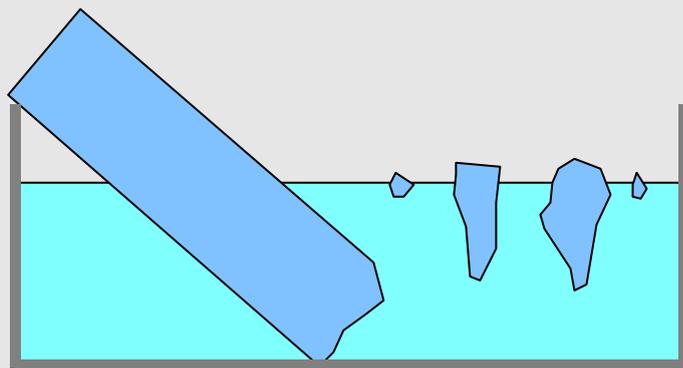
- Un récipient rectangulaire pouvant entrer dans un congélateur.
- Un récipient transparent plus grand que le précédent.
- Un congélateur.
- Un couteau.

Marche à suivre

- Mettre de l'eau dans le premier récipient et le placer dans un congélateur.
- Lorsque l'eau est complètement congelée, sortir le récipient et extraire le bloc de glace, il représentera une plate-forme flottante. Eventuellement tailler le bloc d'une façon asymétrique pour mieux simuler l'ice-shelf.
- Donner quelques coups de couteau sur un des deux bouts du bloc, sans le casser, pour créer des zones de moindre résistance.
- Remplir le second récipient d'eau tiède et y plonger la partie fragilisée du bloc de glace. Le caler si nécessaire avec un objet quelconque.



La partie non plongée dans l'eau figure grossièrement le bord de la plate-forme qui est accroché au continent Antarctique. Au bout d'un moment on observe que des morceaux de glace se détachent de la partie immergée alors que le reste du bloc demeure massif, ce sont des icebergs. Ils ont des tailles variables et ils se détachent au niveau des zones de moindre résistance sous l'action de l'eau qui fait fondre doucement la glace.



Cette expérience simple a simulé la formation des icebergs. Si ensuite on observe les glaçons, on peut se demander pourquoi ils flottent et pourquoi une partie de leur volume (quasiment toujours la même proportion) est située au dessus de la surface de l'eau.

- Pourquoi un glaçon flotte et ne coule pas ?
Quand on plonge un glaçon dans l'eau il subit une force verticale de bas en haut qui le maintient à la surface, c'est la force d'Archimède. Cette force est égale au poids du volume d'eau déplacé par le glaçon.

- Pourquoi le glaçon dépasse de la surface ?
L'eau s'est dilatée en se congelant, à poids égal le glaçon a un volume supérieur (11/10^e) au volume d'eau qu'il a fallu pour le créer (la densité de la glace est inférieure à celle de l'eau). Il déplace donc un volume d'eau plus important que si on l'avait mis fondu. La force d'Archimède est donc plus grande que le poids du glaçon.
Dans la nature, la glace provenant de la compression de la neige contient de minuscule bulles d'air : la densité de la glace d'un iceberg est plus faible que celle de l'eau.
- Le niveau de l'eau va-t-il monter quand le glaçon sera fondu ?
Non, car il a déjà élevé le niveau dans le récipient d'une hauteur quasiment équivalente à son volume en eau. C'est pour cela que le niveau des océans ne montera pas si la glace de mer fond ou si plus d'icebergs partent à la dérive en Antarctique.

Climat polaire et rayonnement solaire

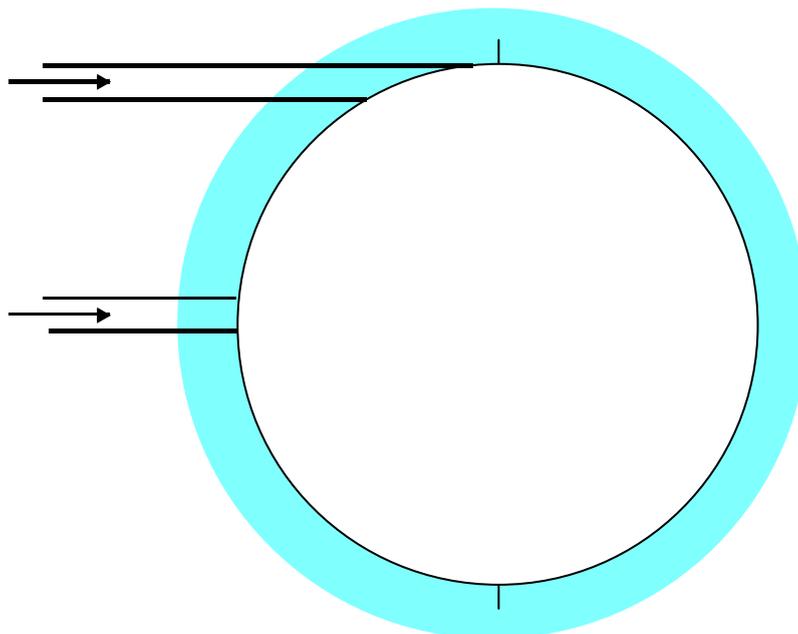
Objectif : assimiler certaines notions de base de la climatologie pour expliquer le froid polaire.

On peut se demander pourquoi il fait froid dans les régions polaires. L'idée principale est que la quasi-totalité de la chaleur reçue par la surface de la Terre provient du rayonnement solaire et que ce sont les régions polaires qui en reçoivent le moins, en raison d'un ensemble de plusieurs phénomènes que nous allons voir :

- des pertes d'énergie lors de la traversée de l'atmosphère,
- un étalement au sol du rayonnement solaire,
- l'existence de la nuit polaire,
- un fort albédo.

Pertes d'énergie

Les rayons du soleil qui atteignent les pôles doivent parcourir une plus grande distance dans l'atmosphère que ceux de la région équatoriale, ce qui entraîne des pertes d'énergie plus importantes.



Parcours et étalement des rayons du soleil

Angle des rayons du soleil

Lorsque les rayons du soleil ont traversé l'atmosphère, aux pôles ils s'étalent au sol sur une surface plus importante qu'à l'équateur, par conséquent l'énergie reçue par unité de surface y est nettement inférieure.

Étalement du rayonnement solaire

Visualiser simplement la notion d'étalement des rayons lumineux.

Matériel nécessaire

- Une feuille de papier noir.
- Une lampe torche.

Marche à suivre

- Accrocher la feuille de papier au mur et faire le noir dans la classe.
- Eclairer à faible distance la feuille et jouer sur l'angle du faisceau de la lampe (de perpendiculaire à oblique) pour visualiser l'étalement de la surface illuminée.

Durée de l'ensoleillement

La durée de l'ensoleillement est un autre paramètre important. En effet, l'été polaire est caractérisé par l'absence ou la quasi-absence de nuit, alors que l'hiver l'obscurité dure plusieurs mois. L'énergie solaire arrive donc continuellement durant l'été, mais elle reste faible et ne compense pas l'hiver sans lumière. Le bilan saisonnier d'énergie est donc négatif dans les régions polaires.

La nuit polaire

Visualiser simplement l'existence des saisons et de la nuit polaire.

Matériel nécessaire

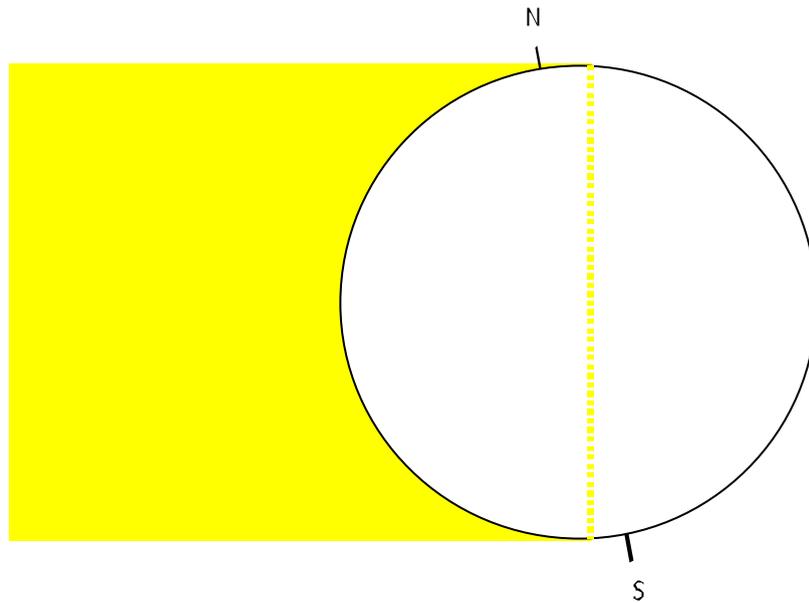
- Une balle de ping-pong.
- Une aiguille.
- Une lampe torche.

Marche à suivre

- La balle de ping-pong représentera le globe terrestre.
- Percer la balle avec l'aiguille, elle symbolisera l'axe de rotation de la Terre.
- Mettre la balle dans le faisceau horizontal de la lampe torche qui sera le soleil.

La Terre tourne sur elle-même, mais son axe est incliné par rapport à la verticale. Au cours de sa rotation autour du soleil, elle présente à tour de rôle vers celui-ci sa partie supérieure (21 juin) ou sa partie inférieure (21 décembre). C'est ce qui explique les saisons (et qu'elles sont opposées entre les deux hémisphères) car plus les rayons du soleil atteignent la Terre directement plus ils chauffent sa surface.

Faire observer qu'en raison de l'inclinaison de la Terre, et malgré sa rotation sur elle-même, durant l'hiver boréal le pôle Nord n'est pas atteint par les rayons lumineux de la torche tout au long de la journée, alors qu'au pôle Sud le jour dure 24 heures. Réaliser ensuite l'inverse.



Albédo important

Seulement une partie de l'énergie solaire qui atteint le sol est absorbée, alors que le reste est réfléchi. En climatologie, la fraction entre le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement incident est appelée albédo, il est d'autant plus fort que les rayons sont réfléchis.

Au niveau du sol la proportion réfléchie dépend des propriétés optiques de la surface, qui sont essentiellement déterminées par sa teneur en eau et sa couleur. Or, la neige et la glace ont un très fort albédo, les régions polaires réfléchissent donc la plus grande partie des rayons lumineux qui les atteignent déjà difficilement. Il y a donc un auto-entretien des conditions froides.

Surface	Albédo (%)
Neige fraîche	81-88
Neige ancienne	65-81
Glace de mer	30-40
Glace	43-50
Rocher	20-25
Sable	15-25
Champ de céréales	15-24
Ville	13-15
Forêts	5-15
Océans	26
Désert	30
La Terre dans globalité	35
La lune	7
Peinture blanche	80
Peinture noire	5

L'albédo

Observer la différence d'albédo entre une surface noire et une surface blanche.

Matériel nécessaire

- Deux plaques métalliques identiques.
- De la peinture noire et de la peinture blanche.
- Un isolant thermique comme une plaque de polystyrène ou de la laine de verre.
- Un thermomètre électronique.

Marche à suivre

- Peindre une plaque en noir, l'autre en blanc.
- Placer les deux plaques à l'extérieur, sur l'isolant thermique, à l'abri du vent.
- Mesurer à intervalle de temps régulier la température de chaque plaque. Pour cela placer la sonde du thermomètre électronique entre la plaque et l'isolant.
- Reporter les mesures dans un tableau.

Au soleil, les plaques vont absorber l'énergie lumineuse et vont s'échauffer jusqu'à atteindre une température d'équilibre presque constante. Cette température sera plus élevée pour la plaque noire qui réfléchit beaucoup moins les rayons du soleil.

On peut aussi faire le lien avec les vêtements et déterminer les couleurs les plus adaptées à l'été ou l'hiver.

L'effet de serre

Objectif : assimiler la notion d'effet de serre en construisant un piège à chaleur.

Les médias parlent souvent de l'effet de serre d'une façon négative comme un danger qui nous menace. Pourtant, ce n'est pas l'effet de serre qui est en cause, sans lui il n'y aurait pas de vie sur Terre, c'est son accroissement et le réchauffement qu'il peut entraîner qui est un risque.

L'effet de serre est un phénomène naturel. Les radiations solaires pénètrent dans l'atmosphère et atteignent le sol qu'elles réchauffent. La surface de la Terre, ainsi chauffée, émet la nuit des rayons infrarouges (invisibles pour nos yeux) qui la refroidissent. Les nuages, la vapeur d'eau et certains gaz de la basse atmosphère (troposphère), interceptent alors une partie de l'énergie émise qu'ils rabattent vers le sol, diminuant ainsi la déperdition de chaleur : c'est l'effet de serre (en fait ils absorbent le rayonnement infrarouge et rayonnent à leur tour vers le sol). Cela explique qu'une nuit est moins froide lorsque elle est nuageuse.

La troposphère se comporte donc comme une serre de jardin dont la chaleur est maintenue par une vitre. Ce phénomène est nécessaire à la vie sur Terre, en effet, sans ces gaz la température moyenne du globe serait de -18°C au lieu de $+15^{\circ}\text{C}$. Les gaz à effet de serre sont le méthane (CH_4), le gaz carbonique (CO_2), les composés chlorofluorocarbonés (CFC), l'ozone O_3 (venant de la pollution à ne pas confondre avec ceux de la couche d'ozone de la haute atmosphère), l'oxyde d'azote (N_2O) et bien sûr la vapeur d'eau (H_2O).

Cependant, les activités humaines (voitures, usines, ...) relâchent actuellement dans l'atmosphère de grosses quantités de gaz à effet de serre comme le CO_2 . L'équilibre thermique du globe est donc en train d'être rompu, car l'excès de ces gaz accroît l'effet de serre. Il est prouvé que la Terre se réchauffe et les modèles numériques estiment que l'augmentation de la température pourrait être de 5°C dans le siècle prochain si les hommes ne font rien. Cette hausse serait très importante, elle entraînerait de gros changements comme une montée importante du niveau des océans.

Nous proposons ici une expérience pour donner une idée du mécanisme de l'effet de serre.

La boîte à effet de serre

Piéger la chaleur dans une boîte comme la Terre le fait avec son atmosphère.

Matériel nécessaire

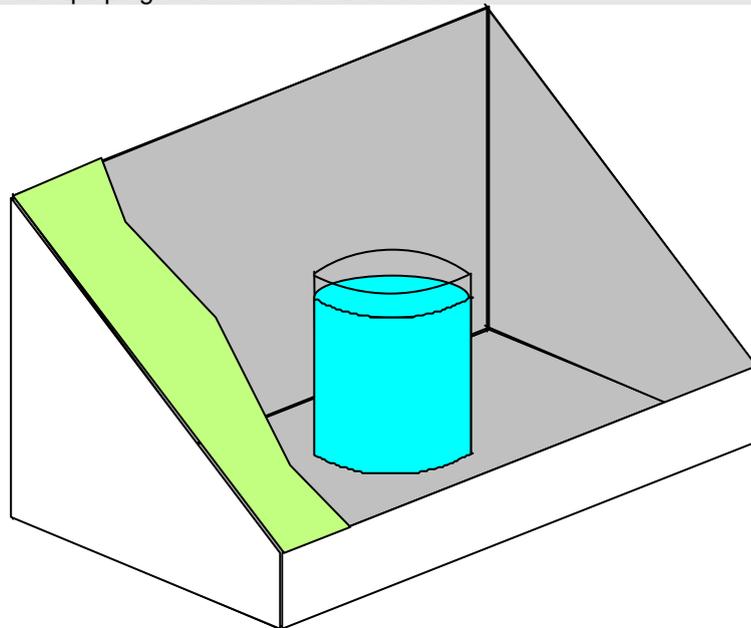
- Une boîte en carton.
- Du papier aluminium.

- Du film plastique transparent.
- Un verre.
- Du scotch.
- Un thermomètre.

Marche à suivre

- Découper la boîte en carton suivant la forme du dessin ci-dessous.
- Garnir l'intérieur du carton avec le papier aluminium.
- Remplir le verre d'eau et mesurer sa température.
- Poser le verre dans la boîte.
- Recouvrir l'ouverture de la boîte par le film plastique.
- Placer le tout au soleil.
- Vérifier avec le thermomètre qu'au bout d'un certain temps la température de l'eau augmente.

Les rayons du soleil traversent le film plastique, ils se réfléchissent sur l'aluminium (voir l'expérience sur l'albédo) mais ils sont ensuite piégés par le film qu'ils ne peuvent traverser dans l'autre sens. Les rayons sont donc rabattus, rebondissent à l'intérieur de la boîte et chauffent l'eau. La chaleur a été piégée. Le film plastique agit donc grossièrement comme les gaz à effet de serre qui piègent la chaleur sur la Terre.



Conservation de la chaleur

Objectif : découvrir les récipients qui conservent le mieux la chaleur.

Deux scientifiques dans une base en Antarctique se préparent pour un raid à l'extérieur. Ils font chauffer de l'eau pour se préparer du thé qu'ils emporteront. Pour conserver le thé chaud le plus longtemps possible quel récipient doivent-ils utiliser, et peuvent-ils améliorer les capacités calorifiques d'un récipient en l'enveloppant de ce qu'ils ont sous la main ?

A partir de cette petite histoire, proposer aux enfants de répondre à quatre questions :

- Quelle forme de récipient conserve le mieux la chaleur ?
- Quelle matière est la plus performante pour garder la chaleur ?
- La couleur d'un récipient a-t-elle une influence sur la déperdition de chaleur ?
- Comment fabriquer un isolant autour d'un récipient ?

Pour cela les élèves vont tester l'aptitude de divers récipients, tout d'abord maintenus ouverts, à conserver l'eau chaude.

Dans un récipient comment la chaleur va s'échapper ?

- Par conduction. La chaleur se transmet aux parois du récipient, qui la transporte vers l'extérieur et la disperse dans l'air ambiant.
- Par convection. Au niveau de l'ouverture la chaleur de l'eau se transmet à l'air dont la température est plus basse : convection naturelle si l'air chauffé s'élève et est remplacé par de l'air plus froid, convection forcée si de l'air est soufflé sur la surface.
- Par rayonnement. Les parois du récipient perdent de la chaleur sous la forme de rayonnement. Le rayonnement d'une surface dépend essentiellement de sa couleur.

Un récipient qui conserve la chaleur doit donc plutôt avoir une ouverture réduite, des parois qui conduisent peu la chaleur et une couleur qui rayonne le moins possible.

Les activités proposées ici doivent être l'occasion pour la classe d'un travail de groupe : réfléchir, se documenter, entrer en relation avec d'autres classes par Internet et expérimenter toutes les idées

Sélection des récipients

Des récipients seront réquisitionnés dans l'école, d'autres seront amenés par les élèves. Ils doivent être de formes, de couleurs et de matériaux différents, avec des ouvertures plus ou moins grandes.

Quelques exemples :

- Un vase en verre.
- Un pichet en plastique, en terre cuite, en verre.
- Un pot doseur en plastique.
- Un grand verre en plastique, en carton, en polystyrène.
- Des verres et choppes à bière de formes différentes.
- Une bouteille en verre, en plastique.
- Un saladier en bois, en verre, en plastique.
- Une gourde en métal, en plastique.
- Une casserole en cuivre, en métal.
- Une boîte de conserve.
- Etc.

Pour cette sélection on peut déjà se poser des questions sur l'utilisation qui est faite habituellement de ces récipients et matériaux. Par exemple, les casseroles de luxe sont en cuivre, c'est donc un très bon conducteur puisque on s'en sert pour chauffer des liquides, mais certainement un matériau médiocre pour conserver la chaleur. Par contre, sur la même casserole le manche est parfois en bois pour ne pas se brûler, c'est peut-être une piste à explorer.

Tester les récipients

Tester des récipients qui conservent la chaleur

Une fois tous les récipients rassemblés, évaluer les capacités calorifiques de chacun dans le cas où ils sont maintenus ouverts.

Matériel nécessaire

- Le récipient.
- Un verre gradué.
- Un thermomètre.
- Un réchaud.

Marche à suivre

- Faire chauffer de l'eau (toujours la même quantité) à une température prise comme référence pour tous les récipients, par exemple 50°C.
- Verser l'eau dans le récipient.
- Mesurer la température de l'eau à intervalle de temps régulier, par exemple toutes les minutes.
- Faire un graphique de la variation de la température en fonction du temps.

Lorsque toutes les mesures ont été réalisées, comparer les graphiques et classer chaque récipient par ordre d'efficacité dans la conservation de la chaleur.

A partir des résultats de ce travail, les élèves peuvent déterminer la forme la plus adaptée et les meilleurs matériaux : classer par exemple les matériaux selon leur isolation thermique, ou mettre en évidence qu'une ouverture trop importante ne permet pas de bien conserver la chaleur même si le matériau est performant.

Fermer les ouvertures de certains récipients et refaire les tests pour montrer la déperdition de chaleur par convection.

La couleur du récipient influe aussi sur sa capacité à garder la chaleur, car elle détermine les pertes par rayonnement. Pour mettre ce phénomène en évidence, comparer les graphiques de récipients identiques mais de couleurs distinctes. Puis, envelopper les parois d'un des récipients avec des papiers de couleurs différentes (blanc, noir, couleurs vives, papier aluminium, ...) et refaire les tests afin de déterminer celle qui engendre le moins de pertes thermiques.

Les élèves ont maintenant répondu aux trois premières questions.

Fabriquer un récipient

Comme des explorateurs isolés en Antarctique, les élèves peuvent à présent essayer de fabriquer un récipient ayant une bonne isolation thermique. Pour cela utiliser deux boîtes de conserve ouvertes, une petite et une grande. Placer la première dans la seconde et fermer les deux boîtes avec un couvercle.

L'activité consiste alors à remplir l'espace entre les deux boîtes de divers matériaux que l'on pense isolants, à verser de l'eau chaude dans la petite boîte et à mesurer comme précédemment la baisse de la température en fonction du temps.

Les élèves peuvent comparer toutes les substances (sable, terre, eau à température ambiante, air, produits alimentaires, papier ...) mais il faut aussi les orienter vers des matières qui emprisonnent de l'air (laine, polystyrène).

Le thermos

Le thermos est le récipient référence pour ce qui concerne la conservation de la température d'un liquide (froid ou chaud). Pour terminer l'activité, s'en procurer un et le tester en classe.

Comme les résultats seront normalement très bons, les élèves devront découvrir son fonctionnement, pour se rendre compte qu'il rassemble en fait les idées qui ont dû ressortir des travaux précédents.

S'isoler du froid

Objectif : mettre en évidence les capacités isolantes de l'air.

Pour s'habiller, l'alpiniste superpose plusieurs couches de vêtements qui ont chacune une fonction : sous-vêtements, veste polaire chaude, veste imperméable et coupe vent. Cette accumulation de vêtements permet aussi de piéger des couches d'air. Or, ce n'est pas innocent, car l'air est un isolant thermique et il contribue à conserver naturellement la chaleur du corps.

Dans l'expérience suivante nous allons illustrer cette spécificité thermique.

Une couche d'air isolante

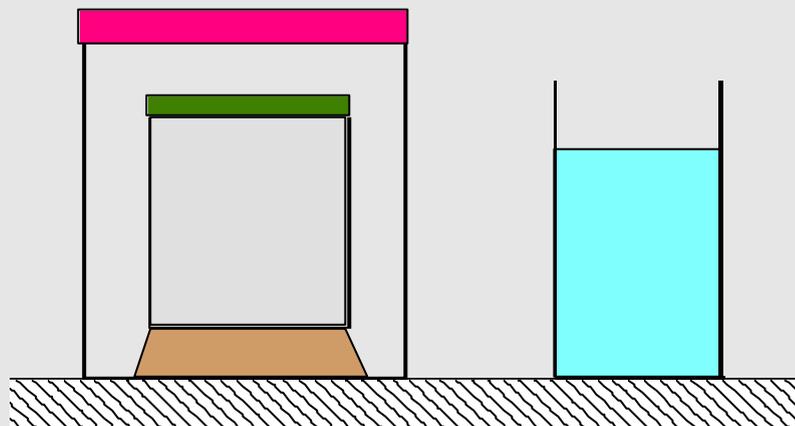
Démontrer que l'air est un isolant thermique.

Matériel nécessaire

- Deux pots en verre, un petit et un grand, le premier pouvant entrer dans le second.
- Un grand bouchon en liège.
- Du scotch.
- Du papier aluminium.
- Un verre.
- Un thermomètre.

Marche à suivre

- Envelopper le petit pot de deux épaisseurs de feuilles d'aluminium, les fixer avec le scotch.
- Placer le bouchon au fond du grand pot.
- Verser de l'eau chaude en même temps dans le verre et dans le petit pot. Mesurer sa température.
- Fermer le petit pot et le poser dans le grand sur le bouchon.
- Fermer le grand pot.
- Attendre 10 minutes, sortir le petit pot et comparer les températures de l'eau : elle est encore chaude dans le pot alors que celle du verre s'est nettement refroidie.



La chaleur quitte facilement le verre et se diffuse dans l'environnement, l'eau s'y refroidit donc rapidement. En revanche, l'eau dans le pot perd sa chaleur plus lentement, parce que le liquide est isolé de l'extérieur par deux isolants thermiques : la couche d'air entre les deux récipients et le bouchon en liège.

Ce montage est tout simplement le principe de la bouteille thermos.

Vous pouvez recommencer l'expérience sans les feuilles d'aluminium afin d'évaluer leur importance.

Construire une station météorologique

Objectif : créer les principaux instruments utilisés en météorologie (thermomètre, pluviomètre, baromètre, girouette, anémomètre, hygromètre) puis construire une station météorologiques et l'exploiter.

Certains instruments seront construits pour la station météorologique que l'on va créer, d'autres permettront de comprendre leur fonctionnement.

Mesurer la température

Un thermomètre fonctionne sur le principe que les liquides se dilatent quand la température augmente. Il est constitué d'un réservoir contenant un liquide et d'un tube gradué. Lorsque la température croît, le liquide dans le réservoir se dilate et le niveau monte dans le tube, si la température baisse le niveau descend. Comme liquide on utilise en général le mercure ou l'alcool, pour notre expérience nous allons prendre l'eau, cela sera moins précis mais aussi moins dangereux.

Le thermomètre

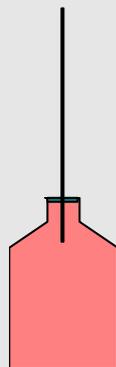
Construction d'un thermomètre à eau dans le but de comprendre son principe.

Matériel nécessaire

- Un flacon de verre (~60 ml) avec un bouchon étanche.
- Un tube en verre ou une paille transparente.
- Un bac en plastique.
- Un thermomètre classique.
- De l'encre.

Marche à suivre

- Percer le bouchon pour y passer le tube. Pour que l'ensemble reste étanche, utiliser éventuellement du mastic ou de la pâte à modeler.
- Remplir complètement le flacon avec de l'eau très froide qui aura été colorée avec un peu d'encre.



- Marquer le niveau de l'eau dans le tube.
- Observer l'évolution : petit à petit l'eau revient à la température ambiante et le niveau monte dans le tube. Lorsque c'est stabilisé faire une marque sur le tube.
- Placer le flacon dans un bac d'eau très chaude. Observer que le niveau de l'eau dans le tube monte rapidement.
- On a donc fabriqué un thermomètre, on peut alors le graduer. Pour cela on recommence les manipulations en remplissant le flacon d'eau à la température ambiante et en le plongeant successivement dans un bac d'eau froide, tiède et chaude. A chaque fois mesurer la température dans le bac à l'aide d'un thermomètre classique et marquer sur le tube le niveau d'eau équivalent.

Mesurer les précipitations

Le retour de l'eau à la surface de la Terre sous forme de pluie, est une composante très visible du cycle de l'eau. Or, avec la température, la quantité de pluie qui tombe annuellement sur une région détermine en grande partie son type de climat. Cette mesure est donc très importante, nous allons pour cela construire un pluviomètre.

Le pluviomètre

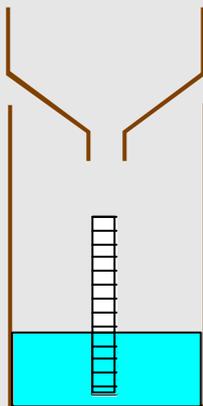
Construction d'un pluviomètre à l'aide d'une bouteille.

Matériel nécessaire

- Une bouteille d'eau en plastique, de préférence étroite car les mesures seront alors plus précises.
- Du scotch résistant à l'eau.
- Une règle.
- Un verre mesureur.

Marche à suivre

- Couper le haut de la bouteille.
- Coller le scotch verticalement sur la bouteille
- Dessiner une graduation de la hauteur d'eau sur le scotch. Pour cela, avec le verre mesureur, verser 1 cm d'eau dans la bouteille et marquer le niveau sur le scotch, puis continuer centimètre par centimètre. Entre les marques des centimètres dessiner les millimètres à l'aide de la règle.
- Retourner le haut de la bouteille et le poser à l'envers sur la base, nous avons alors construit un pluviomètre.
- Le placer à l'extérieur, dans un site dégagé, en le bloquant au sol par des pierres ou des briques.
- Mesurer la hauteur deau chaque matin, la noter dans un carnet, puis vider l'eau et replacer le pluviomètre.



Mesurer la pression

L'air qui nous entoure, bien qu'il soit invisible, est un gaz comme les autres avec son propre poids. On définit ainsi la pression atmosphérique comme le poids de la colonne d'air au dessus de nous.

La pression diminue par exemple quand en montagne on prend de l'altitude, car la colonne d'air se réduit. Elle décroît aussi lorsque la température augmente parce que l'air se dilate, il est alors moins dense (moins de molécules dans le même volume) et donc moins lourd.

La pression varie aussi selon le type de temps, dépression ou anticyclone, d'où l'intérêt de sa mesure. Nous allons pour cela construire deux types de baromètre, un à air, l'autre à eau.

Le baromètre à air

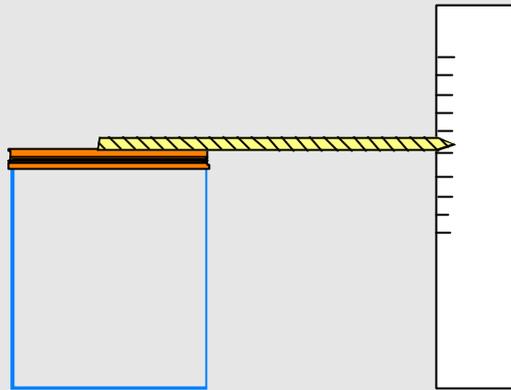
Fabrication d'un baromètre à air.

Matériel nécessaire

- Un verre.
- Un ballon de baudruche.
- Un élastique.
- Un morceau de carton rectangulaire et un socle en carton pour le tenir droit.
- De la colle.
- Du scotch.

Marche à suivre

- Enfiler le ballon sur le verre en l'étirant bien, le fixer solidement avec l'élastique.
- Découper en forme de pointe un des bouts de la paille.
- Coller l'autre extrémité de la paille au centre du ballon.
- Faire une graduation sur le carton et le faire tenir vertical à l'aide du socle.
- Mettre le carton en face de l'extrémité en pointe de la paille.



Lorsque la pression atmosphérique augmente, l'air au dessus du ballon exerce sur lui une force plus grande qui le pousse vers le bas. Le ballon se creuse et l'extrémité pointue de la paille monte. Lorsque la pression atmosphérique diminue la force exercée sur la ballon se réduit, celui-ci se gonfle et l'extrémité pointue de la paille descend. La graduation permet de relever les positions journalières et de visualiser les variations.

Il faut noter que ces mouvements ne dépendent pas uniquement de la pression mais aussi de la température, les mesures sont donc grossières et doivent être plutôt utilisées pour observer les changements de temps.

Le baromètre à eau

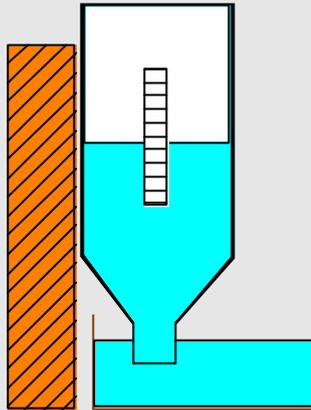
Fabrication d'un baromètre à eau.

Matériel nécessaire

- Une bouteille.
- Un récipient.
- Une brique ou un support.
- Du scotch.

Marche à suivre

- Mettre de l'eau dans le récipient.
- Remplir la moitié de la bouteille en eau.
- Obstruer le goulot avec le doigt ou un carton, renverser la bouteille et la poser verticalement dans l'eau du récipient (enlever le doigt !).
- Attacher la bouteille à la brique avec du scotch.
- Coller une bande de scotch sur la bouteille, y dessiner une graduation centrée sur le niveau de l'eau.



Lorsque la pression atmosphérique augmente, l'air au dessus de la surface de l'eau du récipient exerce une force plus grande. Le niveau de l'eau dans le récipient descend et donc celui dans la bouteille monte.

Lorsque la pression atmosphérique diminue la force exercée sur la surface de l'eau est moins importante, le niveau dans le récipient monte alors que celui dans la bouteille descend.

La graduation permet de relever les positions journalières et d'observer les variations de la pression.

Mesurer la vitesse et la direction du vent

Le vent c'est de l'air en mouvement. Il y a le vent des dépressions créé par des différences de pression, les vents locaux liés à la géographie, les vents de gravité (vents catabatiques de l'Antarctique), les brises de mer et de terre, etc.

On mesure sa direction et sa vitesse. Nous allons pour cela construire une girouette et un anémomètre.

La girouette

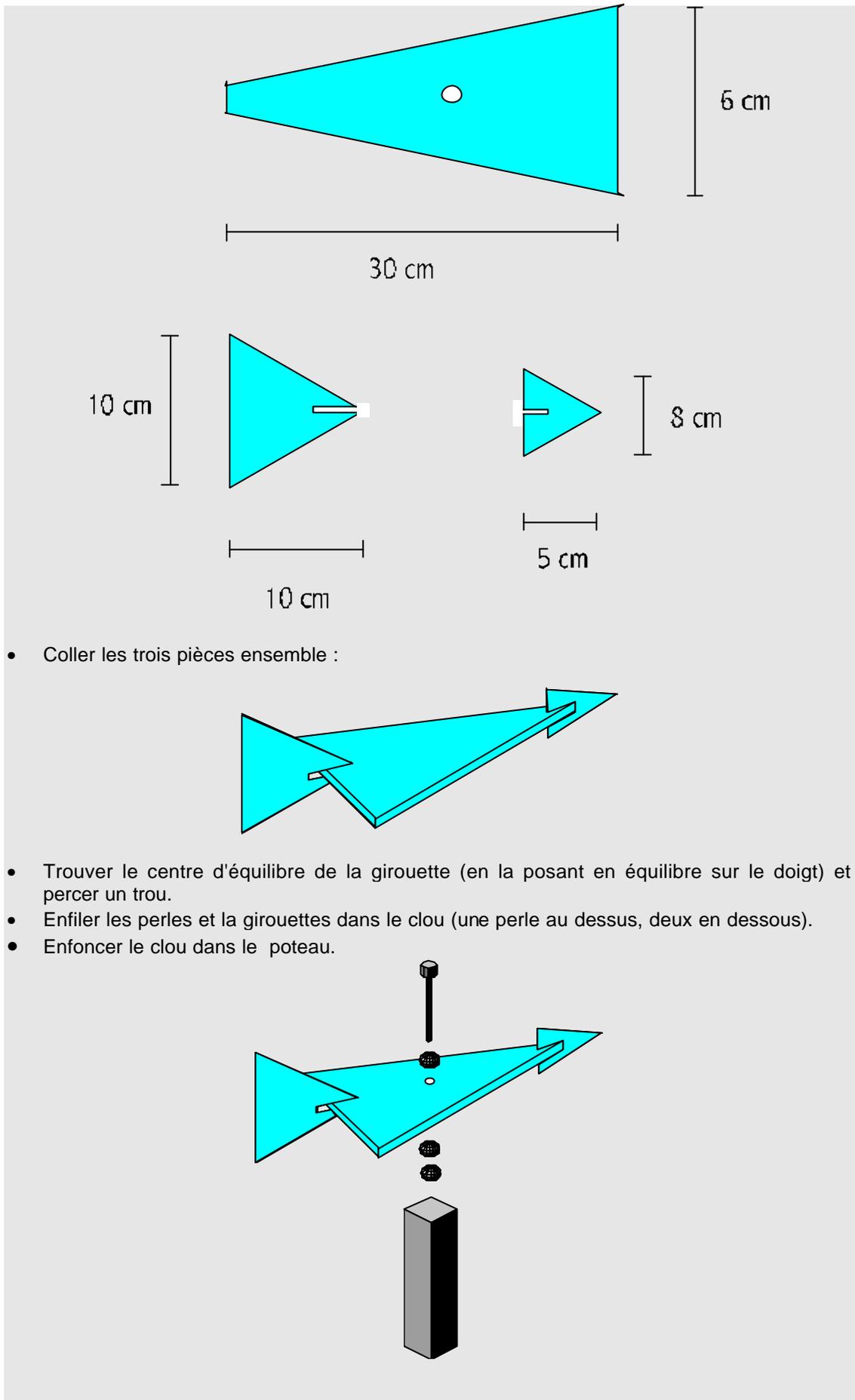
Fabrication d'une girouette pour déterminer la direction du vent.

Matériel nécessaire

- Du balsa.
- Un poteau en bois à enfoncer dans la terre ou avec un socle pour le maintenir vertical.
- De la colle.
- Un grand clou.
- Trois perles.
- Une boussole

Marche à suivre

- Découper dans le balsa les trois pièces suivantes :



- Enfoncer le poteau dans le sol à l'extérieur (ou utiliser un socle) dans un site à découvert.
- Autour du poteau, sur le sol ou sur un plateau, marquer les points cardinaux à l'aide de la boussole (Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est ...).

La girouette s'oriente dans la direction du vent, celle d'où il vient. Cette direction sera donnée par rapport au points cardinaux. On dira le vent souffle en provenance du Nord, de l'Est ou du Nord Nord-Est.

L'anémomètre

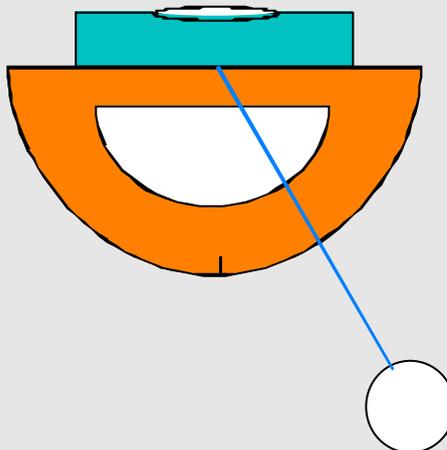
Fabrication d'un anémomètre portable à rapporteur.

Matériel nécessaire

- Un grand rapporteur.
- Un niveau à bulle.
- 30 cm de ficelle suffisamment rigide.
- Une balle de ping-pong.
- Du scotch.

Marche à suivre

- Scotcher une extrémité de la ficelle à la balle de ping-pong, l'autre à l'origine du rapporteur. La ficelle doit être tendue.
- Fixer avec du scotch le rapporteur sur un bord du niveau à bulle.



- Se mettre à l'extérieur dans la direction du vent qu'indique la girouette. La balle se soulève, il faut maintenir le niveau à bulle horizontal et lire l'angle que prend le balancier. Il faut noter que si la ficelle est trop souple la mesure sera difficile.
- Pour connaître la vitesse du vent se rapporter au tableau suivant :

Angle (deg.)	90	80	70	60	50	40	30	20
Vitesse (km/h)	0	13	19	24	29	34	41	52

Mesurer l'humidité de l'air

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. L'air chaud peut contenir plus de vapeur d'eau que l'air froid, c'est pourquoi l'été on a parfois la sensation que l'air est humide et difficile à supporter.

On mesure le degré d'humidité à l'aide d'un hygromètre, c'est ce que nous allons construire.

L'hygromètre

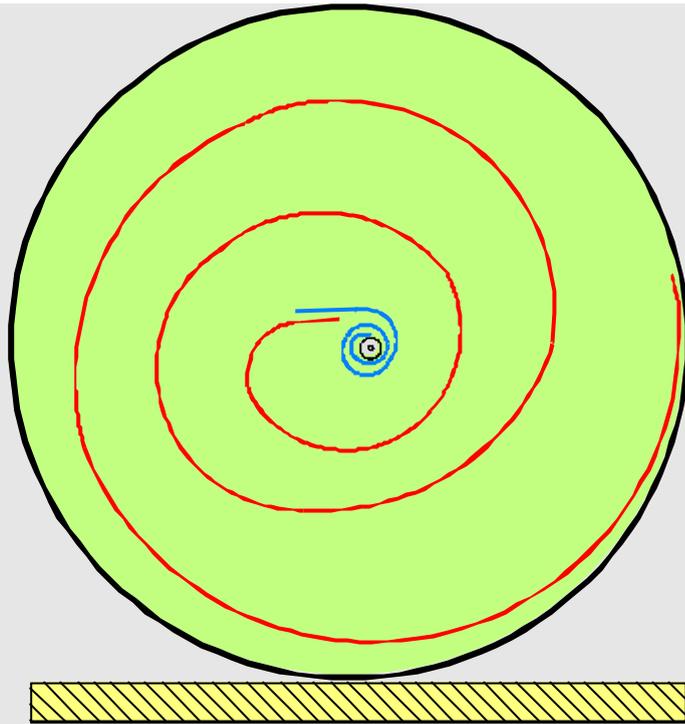
Fabrication d'un hygromètre avec du papier photographique.

Matériel nécessaire

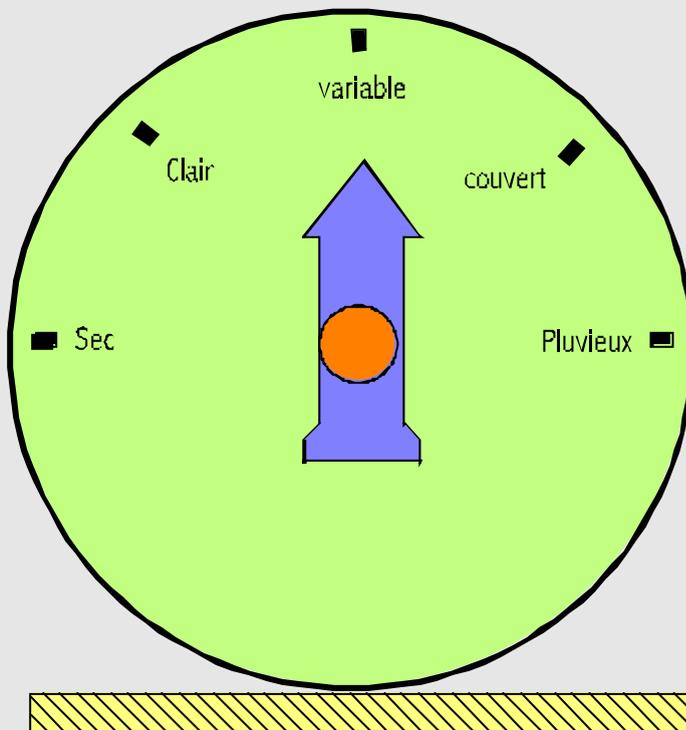
- Du papier à lettre.
- De la colle.
- Une aiguille à coudre.
- Du papier photographique.
- Une boîte ronde en métal (pommade, bonbons ...) de plus d'1cm de profondeur.
- Une foreuse à main ou électrique.
- Une lime.
- Une planchette en bois.
- Une feuille de carton léger.
- Une rondelle de liège.

Marche à suivre

- Découper une bande de papier photographique de 1cm de large et 20 à 30 cm de long selon la taille de la boîte.
- Découper une bande de papier à lettre de 5 cm de long et de 1cm de large. Enduire de colle une face. Coller un bout de la bande sur l'aiguille et enrouler le reste du papier autour, s'arrêter pour laisser l'autre extrémité libre.
- A cette extrémité, faire adhérer un bout de la bande de papier photographique. La face brillante doit être vers l'extérieur de l'enroulement, c'est à dire qu'elle doit être placée sur la face enduite de colle du papier à lettre.
- Enrouler la bande de papier photographique autour de l'aiguille comme un ressort de montre.
- Percer le fond et le couvercle de la boîte en leur centre.
- Faire des petits trous d'aération dans le fond de la boîte.
- Limer les bords de métal produites par les percements des trous.
- Placer l'aiguille dans le trou du fond de la boîte..
- Coller l'extrémité libre du papier photographique sur le bord de la boîte.
- Positionner la boîte dans une position verticale, en la collant (ou la fixant par un clou) sur un petit socle en bois.



- Fermer la boîte en incérant l'autre extrémité de l'aiguille dans le trou du couvercle.
- Dessiner des graduations sur le couvercle.
- Découper dans le carton une flèche, la coller sur la rondelle de liège.
- Fixer la flèche sur l'aiguille par le liège. L'hygromètre est prêt.



Lorsque le degré d'humidité de l'air (qui entre par les trous d'aération) augmente, la couche de gélatine de la face brillante du papier photographique se dilate. La bande alors se déroule et la flèche oblique vers la droite. Lorsque l'humidité diminue le papier s'enroule et la flèche

penche vers la gauche. Nous avons là un moyen de d'observer les changements dans l'humidité de l'air.

Construire la station météorologique

Les instruments

Nous avons besoin d'un certain nombre d'instruments météorologiques. Parmi ceux que nous avons construits nous allons utiliser les suivants :

- le pluviomètre,
- la girouette,
- l'anémomètre.

D'autres devront être achetés dans le commerce, on peut trouver des versions de base dans des prix relativement bas :

- un thermomètre,
- un hygromètre,
- un baromètre.

Nous avons aussi besoin d'une planche descriptive des nuages. Pour cela vous pouvez vous adresser au service météo de votre région.

La disposition des instruments

Le thermomètre, le baromètre et l'hygromètre, se fixent, à hauteur d'enfant, à l'ombre sur un mur orienté au nord.

On peut aussi, et c'est nettement mieux, les placer dans un petit abris qui les protégera du soleil et du vent tout en laissant l'air circuler :

- En utilisant des plaques de contreplaqué construire une boîte cubique, dont la face avant s'ouvre grâce à une charnière.
- Clouer quatre pieds de 1m de hauteur.
- Percer sur les quatre côtés verticaux des trous de taille moyenne.
- Peindre la boîte en blanc.

Disposer cet abris de « Stevenson » sur un terrain dégagé, une pelouse par exemple.

Installer le pluviomètre et la girouette dans ce même endroit à découvert. L'anémomètre, plus fragile, n'est pas laissé à l'extérieur et ne sera sorti que pour les mesures.

Les mesures journalières

Dans une station météo on relève les mesures quotidiennement et trois fois par jour. Pour les enfants, bien entendu, ces mesures ne seront faites que les jours de classe et les heures de relevés seront adaptées, par exemple 9 h, 13h 30 et 16h.

Les mesures seront notées dans un cahier commun.

Chaque relevé consistera à consigner :

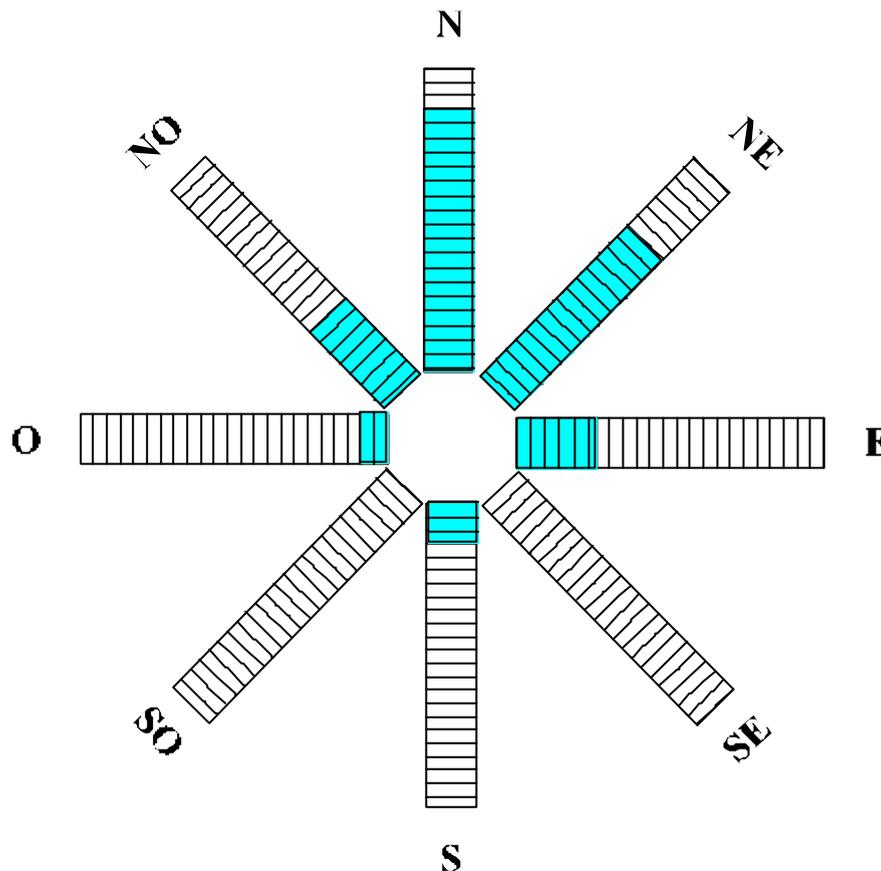
- La température (°C).
- La pression (mb).
- Le taux d'humidité.
- La hauteur d'eau dans le pluviomètre, mais uniquement une fois par jour, le matin par exemple, sans oublier de vider le réservoir.
- La vitesse et la direction du vent.
- Les différents types de nuages présents et leur altitude (bas, moyen, haut).

- Le type de temps général : soleil, passages nuageux (nuages de beau temps, alternance pluie et soleil), couvert, pluie (averses, bruine, crachin, ...), brouillard, brume, orage, neige, grêle, etc. Enfin, tout ce qui paraît intéressant.

Utiliser les données de la station météorologique

Grâce aux données enregistrées sur la cahier on peut rapidement envisager des activités et à terme les enfants seront capables de faire quelques prévisions. Vous trouverez ici quelques idées d'activités.

La rose des vents



Chaque branche de la rose des vents est constituée de cases. Tous les jours, pendant un mois, noircir la case qui correspond à la direction du vent observée lors des trois mesures. A la fin du mois il sera facile de déterminer d'où souffle le vent dominant.

Est-ce qu'il correspond à la norme de la région ? Sinon, trouver les facteurs qui peuvent perturber les mouvements de l'air près de la station, par exemple un bâtiment.

Variations journalières

Sur une journée, observer comment varie les différentes grandeurs. Se demander pourquoi la température monte puis baisse, etc.

Climatologie

Sur un mois, faire la moyenne des températures et des précipitations. Se procurer les cartes des températures et des précipitations de votre pays, de l'Europe, du monde.

Comparer les résultats de la classe avec ces cartes : l'école est-elle dans la moyenne de sa région pour la saison ?

Dénicher une carte de la répartition des climats sur le globe.

Comparer la pluviométrie et les températures des différentes régions de votre pays et repérer ainsi les différentes zones climatiques (océanique, continental, montagnard).

Comparer les niveaux de précipitation dans le monde, en particulier pour des régions très différentes (déserts, forêts équatoriales ...) et observer que cela correspond souvent assez bien aux différents climats. Noter qu'à l'intérieur de l'Antarctique les précipitations sont très faibles (sous forme de neige uniquement), ce qui en fait un des plus grands déserts du monde alors qu'il est composé de glace !

Précision des prévisions nationales

Chaque jour les médias diffusent les prévisions du temps pour le lendemain et les jours suivants. Avec les données de la station il est facile de vérifier leur précision.

Il suffit le matin de noter les prévisions du journal, qui sont souvent localement plus précises, pour les confronter le soir avec les observations de l'école. On peut alors évaluer la précision et déterminer les types de temps les plus difficiles à prévoir.

Les prévisions vont jusqu'à une semaine, on peut donc aussi mettre en évidence la baisse de la précision au fil des jours.

Observer les caractéristiques de chaque type de temps

Des activités peuvent être entreprises pour mieux connaître chaque type de temps.

Dans la classe, déterminer, en se documentant, tout ce qui caractérise chaque type de temps. Puis, vérifier les informations en analysant les relevés météorologiques du cahier. Par exemple, quelles sont les conditions favorables à l'établissement du brouillard ou quels sont les indices de l'arrivée d'une perturbation :

- Le brouillard et la brume sont constitués de fines gouttelettes d'eau en suspension (diamètre 1-50 μm pour le brouillard, diamètre inférieur à 1 μm pour la brume). Pour qu'ils apparaissent, il faut une couche d'air humide sur un sol plus froid, il y a alors refroidissement et condensation (voir l'expérience sur le Cycle de l'eau). De plus, l'air doit être calme mais sans être complètement immobile sinon c'est de la rosée ou du givre qui se formera.
- L'approche d'un front chaud est souvent annoncé 48 heures à l'avance par des Cirrus qui sont les nuages les plus élevés. Suivent des nuages de plus en plus bas (cirrostratus, altostratus, cirrocumulus, nimbostratus) et enfin la pluie ou la neige. Lorsque le front est passé, il y a une courte période de beau temps puis un front froid arrive. Celui-ci est accompagné d'une chute de pression et de fortes averses. Une fois passé on a souvent un temps plus froid et une hausse de la pression. Un ciel de traîne s'installe alors, alternant soleil et averses. On peut trouver facilement des dessins très visuels sur la structure des fronts.
- Un anticyclone est fréquemment associé à un temps ensoleillé et sec, chaud ou froid, et est précédé par une hausse continue de la pression.
- Dans une région donnée les vents sous une perturbation sont souvent dans la même direction. Comparer aussi la direction principale du vent entre une situation anticyclonique et dépressionnaire.
- Le mauvais temps (fortes précipitations et importante vitesse du vent) sera d'autant plus fort que la pression baisse rapidement avant le front.

Faire des prévisions

Une fois que le travail sur les divers types de temps a été réalisé, la classe peut envisager d'effectuer des prévisions simples de la météo pour le lendemain, avec des données qui ont été collectées les deux ou trois jours précédents grâce aux instruments de la station.

Il faut pour cela discerner dans les mesures les indices d'un changement de temps (alternance dépression-anticyclone) ou de l'établissement d'une situation particulière (comme le brouillard). Un baromètre par exemple a un grand intérêt pour la prévision du temps. Une montée de la pression peut annoncer un temps ensoleillé et sec, alors qu'un front froid est précédé par une baisse de la pression.

Les élèves peuvent aussi suivre une perturbation qui traverse l'Europe sur plusieurs jours et essayer de prédire le temps du lendemain. Ils peuvent aussi utiliser tous les outils de la météo que l'on trouve gratuitement, comme les images satellites.

Le mouvement apparent du soleil

Objectif : observer la trajectoire apparente du soleil.

Dans l'expérience sur la longitude, les élèves ont construit un Gnomon pour connaître l'instant où le soleil est au zénith (midi solaire). Ils peuvent maintenant l'utiliser pour suivre le mouvement apparent du soleil.

Suivi du mouvement apparent du soleil

Matériel nécessaire

- Le Gnomon.
- Une grande feuille de papier.
- Une boussole.

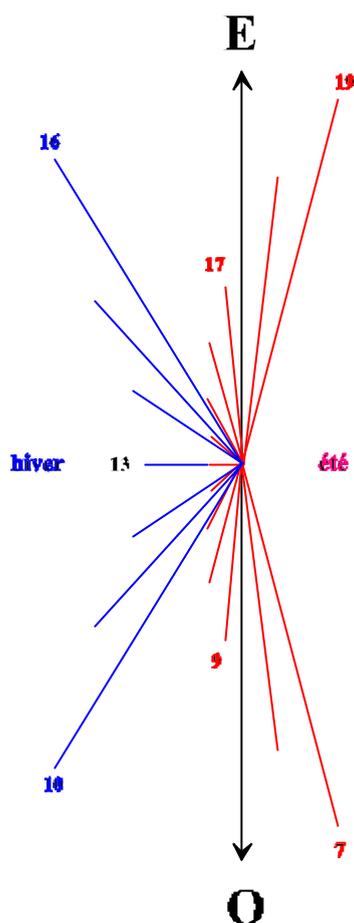
Marche à suivre

- Fixer la grande feuille de papier sur la planche du Gnomon.
- Un jour de soleil installer le Gnomon à l'extérieur.
- A l'aide de la boussole, orienter la planche et la feuille dans la direction est-ouest.
- Tracer sur le papier toutes les heures, voire toutes les 1/2 heures, l'ombre de la baguette et y noter l'heure.

Durant la journée l'ombre se déplace et sa taille varie (elle décroît puis augmente à nouveau à partir du midi solaire). Si on relie les sommets des relevés des ombres on obtient alors une courbe qui laisse à penser que le soleil se déplace dans le ciel de l'est vers l'ouest (il est au sud lorsque il est au zénith). Il faut donc expliquer aux élèves qu'il est en réalité fixe et ne décrit qu'un mouvement apparent dû au fait que la Terre tourne sur elle même.

Le soleil se lève exactement à l'est que deux jours par an, aux équinoxes de l'automne (23 septembre) et du printemps (20 mars). Ces jours là, quelle va être la forme de la courbe relevée, une droite ?

Il faut refaire ces relevés à plusieurs semaines d'intervalles et observer les variations de la trajectoire du soleil, de la longueur des ombres, mais aussi de la durée du jour. En visualisant en classe l'animation « *La nuit dans les régions polaires* » (www.educapoles.org) et avec la balle de ping-pong et la lampe torche de l'expérience « *Climat polaire et rayonnement solaire* » les élèves peuvent imaginer des explications.



Le Gnomon peut aussi devenir rapidement un cadran solaire. Il suffit pour cela d'incliner la baguette par rapport au sol d'un angle égal à la latitude du lieu (ou d'incliner la planche de cet angle en conservant la baguette perpendiculaire à celle-ci), de l'orienter vers le nord et de tracer sur la planche les graduations des heures. Vous aurez alors construit un cadran solaire équatorial. Il donnera l'heure solaire locale, pour connaître l'heure légale il faudra ajouter l'écart de longitude et l'équation du temps (voir l'expérience sur la longitude), sans oublier une ou deux heures selon que l'on soit en hiver ou en été.

Transport de la neige derrière une montagne

Objectif : création d'une maquette et d'une petite soufflerie expérimentale pour comprendre la déposition ou la non-déposition de la neige derrière un obstacle.

A l'intérieur de l'Antarctique le milieu est avant tout caractérisé par la neige omniprésente et le vent qui souffle inlassablement. Sous l'action du vent la neige est donc continuellement emportée pour être re-déposée plus loin.

Derrière une montagne ou un obstacle, c'est à dire en aval de l'écoulement de l'air, la neige est pris dans des tourbillons. Comme le vent souffle dans une direction assez constante on peut parfois observer des phénomènes particuliers comme une sur-déposition de la neige (une congère) ou au contraire un déficit de neige qui forme une fosse.

Cette expérience consiste à essayer de comprendre ces phénomènes.

Soufflerie expérimentale

Pour la création de cette soufflerie expérimentale nous proposons une procédure uniquement dans ses gros traits, car les solutions « pour que cela marche » devront être trouvées par les enfants, comme dans un véritable travail expérimental scientifique.

Exemple de matériel nécessaire

- Du papier mâché.
- Un plateau en bois.
- Un ventilateur.
- Des particules de polystyrène.
- Des lamelles de papier léger.
- Un moyen de faire de la fumée.

Marche à suivre

- Sur le plateau en bois, à l'aide de papier mâché, reconstituer la topographie d'une montagne qui pointe à la surface de la calotte glaciaire (un « nunatak »). Il faut prévoir assez de place en aval de la montagne.
- Placer en amont un ventilateur à distance de la maquette, orienter le selon une direction fixe. La distance, la vitesse du ventilateur sont à déterminer par des essais.
- Mettre en marche le ventilateur, l'air s'écoule autour de la montagne.
- Pour visualiser le mouvement de l'air le moyen le plus classique est de produire de la fumée (encens, petite bombe fumigène, ...).
- Reporter alors sur une carte de la maquette les mouvements de la fumée au niveau du sol. Dessiner sur des feuilles les mouvement verticaux et tridimensionnels. Cela peut se faire en plusieurs fois, en envoyant de la fumée dans des zones différentes sans modifier l'arrivée de l'air.

Une autre solution pour la visualisation est de tenir verticalement derrière la montagne des bandelettes de papier léger (on peut imaginer un petit portique avec plusieurs bandelettes). Dans le vent les bandelettes s'inclinent et donnent la direction du mouvement de l'air. Reporter sur une carte et recommencer en repositionnant les bandelettes. Petit à petit la forme de l'écoulement apparaîtra.

Après cette étape on peut essayer de représenter la neige dans l'expérience.

Tapiser le sol en amont de la montagne de particules de polystyrène. Le polystyrène n'est pas forcément le meilleur matériau, les enfants pourront en imaginer d'autres et essayer chacun pour trouver le plus adapté.

Allumer le ventilateur et observer les mouvement des particules, leur déposition.

Le problème de cette expérience vient du fait que les particules vont se disperser dans la pièce. Des panneaux verticaux le long de trois côtés de la planche peuvent limiter ce phénomène, mais il faut savoir que cela va fausser les résultats par rapport à la réalité, surtout s'ils sont trop proches de la maquette. Des petits filets sont certainement plus judicieux.

La longitude et la latitude

Objectif : calcul de la longitude et de latitude par les méthodes des anciens explorateurs.

Pour connaître sa position à la surface de la Terre on utilise un système de coordonnées, la longitude et la latitude.

Le globe est divisé en deux hémisphères, Nord et Sud, séparés par l'équateur.

Parallèlement à l'équateur, vers le nord et vers le sud, a été définie une succession de cercles imaginaires régulièrement espacés et se rétrécissant au fur et à mesure qu'ils approchent des pôles, ce sont les parallèles.

On a de plus défini une autre série de cercles imaginaires faisant le tour de la Terre en passant par les pôles, appelés les méridiens. Le méridien d'origine (0° 0' 0") est celui qui passe par l'observatoire de Greenwich de Londres.

La mesure de sa position dans ce système de coordonnées est aujourd'hui très simplifiée grâce au système des satellites GPS, mais dans les siècles derniers ce problème était vital pour les marins et les explorateurs. Nous proposons ici que la classe calcule sa position à l'aide de deux méthodes, maintenant abandonnées, des anciens explorateurs : le chronomètre et le quadrant.

Calcul de la longitude

On définit la longitude comme l'angle entre l'axe de rotation de la Terre et le méridien de Greenwich, et l'axe de la Terre et le site considéré. C'est une mesure en degrés (0 à 180°) vers l'ouest ou l'est.

Sur le terrain, pour les explorateurs, cela consistait à avoir un chronomètre (une montre) qui conserve l'heure juste et à faire une simple mesure de temps. En effet, comme la Terre fait un tour sur elle-même en 24h, chaque point de sa surface parcourt un cercle de 360° durant une journée, soit un arc de 15° en une heure ou de 15' par minute. Par conséquent, pour déterminer la longitude d'un endroit il faut chercher l'heure précise où le soleil passe au zénith et calculer le retard ou l'avance par rapport à l'heure du méridien de Greenwich.

Un Gnomon est nécessaire pour connaître l'instant où le soleil est au zénith, c'est ce que nous allons construire, puis nous mesurerons la longitude.

Gnomon

Construction d'un gnomon pour définir l'instant où le soleil est au zénith.

Matériel nécessaire

- Une grande planche de contreplaqué.
- Des petites cales en bois.
- Une baguette en bois.
- Un niveau à bulle.
- Une équerre.
- Une montre réglée précisément.

Marche à suivre

- Installer la planche à l'extérieur sur une table. Elle doit être tout à fait horizontale, utiliser pour cela le niveau à bulle et les petites cales.
- Fixer verticalement la baguette au centre de la planche. Utiliser l'équerre pour régler au plus juste sa verticalité.

Au cours de la journée l'ombre de la baguette va tourner et varier de longueur (diminuer puis augmenter) : il est midi au soleil quand l'ombre est la plus petite. Cependant, cette mesure n'est pas toujours précise, on peut alors suivre la méthode suivante :

- Sur la planche tracer un cercle ayant pour centre la baguette.
- Le matin, faire une marque quand la pointe de l'ombre est sur le cercle.
- L'après midi, faire une marque lorsque la pointe est à nouveau sur le cercle.
- Les marques forment un angle dont le sommet est le centre du cercle. Tracer sa bissectrice.

Le temps que l'ombre a mis le matin pour aller de la première marque à la bissectrice est le même que celui qu'elle met pour atteindre la deuxième marque. La bissectrice est donc la position de l'ombre quand le soleil est au zénith.

Mesure de la longitude

Marche à suivre

- Evaluer l'heure GMT précise à laquelle l'ombre de la baguette est sur la bissectrice.

L'heure GMT est le temps universel TU : en France l'heure d'été moins deux heures ou l'heure d'hiver moins une heure.

- Le calcul se base sur deux points :

-Au méridien de Greenwich, lorsque le soleil est au zénith il est 12 h GMT.

-La Terre fait un tour sur elle même en 24 heures, il en résulte que chacun des points de sa surface parcourt un cercle de 360° en vingt quatre heures, soit un arc de 15° par heure, de 15' par minute, de 15 " par seconde.

Exemple 1

-Au site d'observation, à midi au soleil il était 14 h 37 min GMT.

-Il y a donc 2 h 37 min de retard sur le méridien de Greenwich.

$-(2 \times 30)^\circ + (37 \times 15)' = 60^\circ 555'$ soit $69^\circ 15'$

-Le site d'observation est en retard par rapport à Greenwich car le soleil s'y lève plus tard, il est donc à l'ouest du méridien de Greenwich.

La longitude est donc $69^\circ 15'$ Ouest.

Exemple 2

-A midi au soleil il était 10 h 29 min GMT.

-Il y a donc 1 h 31 min d'avance sur le méridien de Greenwich.

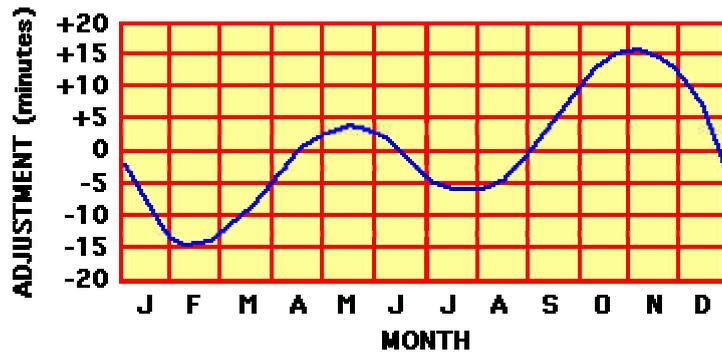
$-(1 \times 30)^\circ + (31 \times 15)' = 30^\circ 465'$ soit $37^\circ 45'$

-Le site d'observation est en avance par rapport à Greenwich, il est donc à l'est du méridien de Greenwich.

La longitude est donc $37^\circ 45'$ Ouest.

- Vérifier le calcul avec un atlas ou un GPS.

La mesure de la longitude que les élèves viennent de calculer est peut-être relativement loin de la réalité. En fait, comme l'orbite terrestre est une ellipse et que la durée du jour n'est pas exactement 24 heures (mais 23h 56 min 4 sec), il faut apporter une correction à l'heure prise comme le midi solaire avant de calculer la longitude. En effet, la différence entre l'heure solaire vraie et l'heure officielle peut varier de -16min à +14min environ, suivant un cycle annuel appelé équation de temps :



Une approximation de la correction (E) peut être calculée par la formule suivante :

$$E = 9,87 \times \sin(2B) - 7,53 \times \cos(B) - 1,5 \times \sin(B)$$

où

$$B = 360 \times (N-81) / 365 \text{ (pour une année non bissextile)}$$

où

N = numéro du jour considéré (le 1^{er} janvier N = 1)

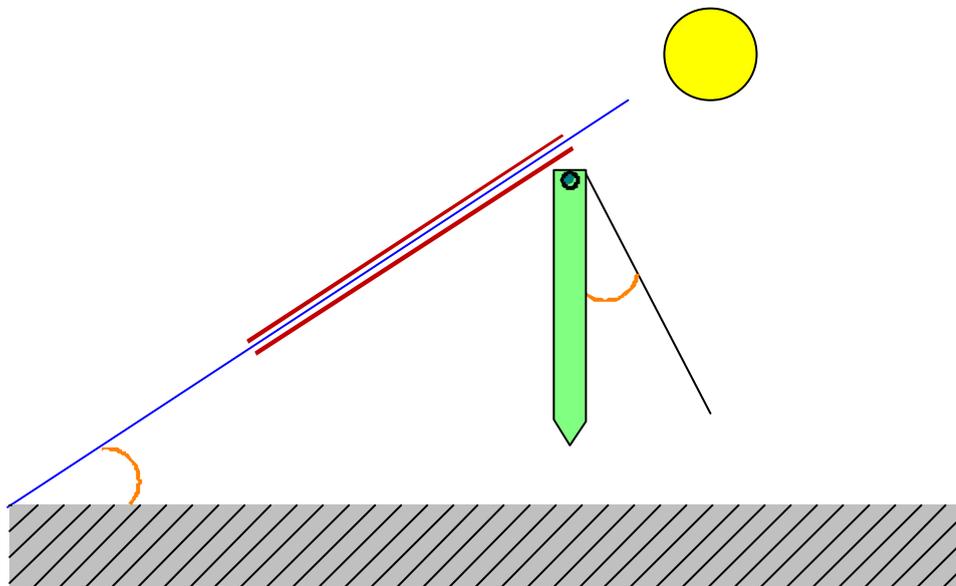
Pour plus d'informations voir « *l'Observatoire Royal de Greenwich* » :

<http://www.rog.nmm.ac.uk/leaflets/equation/equation.html>

Calcul de la latitude

On définit la latitude comme l'angle entre le centre de la Terre et l'équateur et le centre de la Terre et le site considéré. Les pôles sont à 90° Nord et Sud.

Le jour, pour déterminer la latitude d'un site il faut mesurer la hauteur du soleil au dessus de l'horizon lorsqu'il est au zénith. La nuit, dans l'hémisphère Nord, on peut utiliser l'étoile polaire.



Pour cette mesure d'angle, les explorateurs utilisaient des instruments comme le sextant et le quadrant, nous vous proposons d'en construire un :

Quadrant

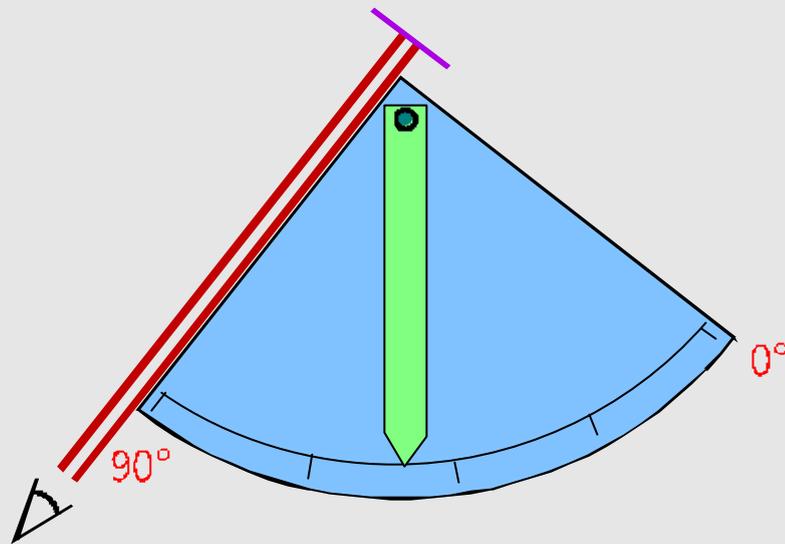
Construction d'un quadrant pour mesurer l'angle du soleil au dessus de l'horizon.

Matériel nécessaire

- Une plaque de contreplaqué.
- Un tube en plastique d'un diamètre intérieur de 3 mm et d'une longueur de 42 cm.
- Un film photo voilé et développé.
- Un clou.
- Un rapporteur.

Marche à suivre

Le quadrant a la forme suivante :



Pour le construire :

- Découper dans la plaque de contreplaqué un quart de disque de 34 cm de rayon.
- Dessiner sur la plaque un arc de cercle de 30 cm de rayon en prenant l'angle droit comme origine. Ajouter dessus une graduation de 0 à 90° en s'aidant du rapporteur.
- Découper une aiguille dans le reste de contreplaqué.
- Planter le clou dans l'angle droit de la plaque pour fixer l'aiguille. L'aiguille doit tourner librement autour de l'axe constitué par le clou.
- Coller le tube sur le côté de la plaque où se trouve la graduation 90°.
- Coller le film photographique au bout du tube, il doit protéger l'œil du soleil lors de la visée.
- Etalonner le quadrant. Pour une visée verticale et horizontale, l'aiguille doit indiquer exactement un angle de 90° et de 0°.

Mesure de la latitude

Mesure de la latitude à l'aide du quadrant.

Matériel nécessaire

- Le quadrant.

- Des lunettes de protection en plastique.

Marche à suivre

- Mettre les lunettes de protection.
- Vérifier que le film photographique est bien au bout du tube.
- Quand le soleil est au zénith (voir le calcul de la longitude), le viser à travers le tube.
- Lire la graduation sur laquelle l'aiguille est arrêtée. Pour des raisons de stabilité, cette partie doit être réalisée par un second élève qui peut même aider l'aiguille à s'immobiliser.
- Refaire la mesure plusieurs fois.
- Faire la moyenne des résultats (par exemple 48,5°), on a alors la latitude (Nord en Europe) de l'endroit où on se trouve (soit 48° 30' N).
- Vérifier avec un atlas ou un GPS.

On peut effectuer la même chose la nuit avec l'étoile polaire (on enlève alors le film photographique !).

Le champ magnétique de la Terre

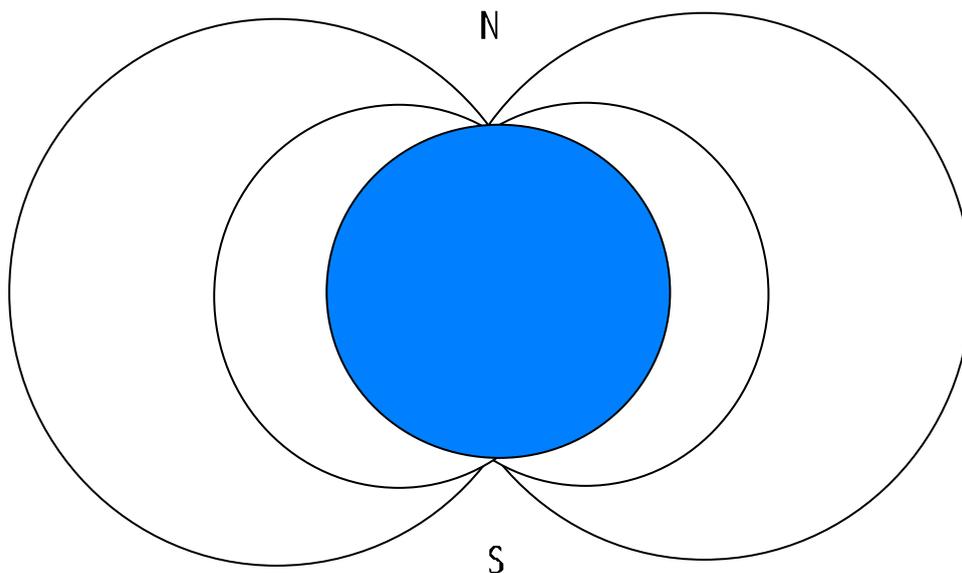
Objectif : découverte du champ magnétique de la Terre et création d'une boussole d'inclinaison.

La Terre est enveloppée par un champ magnétique.

Notre planète se comporte comme si un énorme aimant droit était positionné le long d'un axe incliné de 11° par rapport à l'axe de rotation de la Terre. Les points où l'axe de l'aimant sortirait de la surface terrestre sont les pôles magnétiques. Ces pôles magnétiques sont différents des pôles géographiques, de plus ils se déplacent d'environ 8km par an, c'est la variation séculaire. Ainsi, le pôle sud magnétique est situé actuellement à 2800 km du pôle sud géographique, au large de la Terre Adélie, alors qu'en 1909 l'explorateur Douglas Mawson l'a trouvé en Terre Victoria sur la calotte polaire.

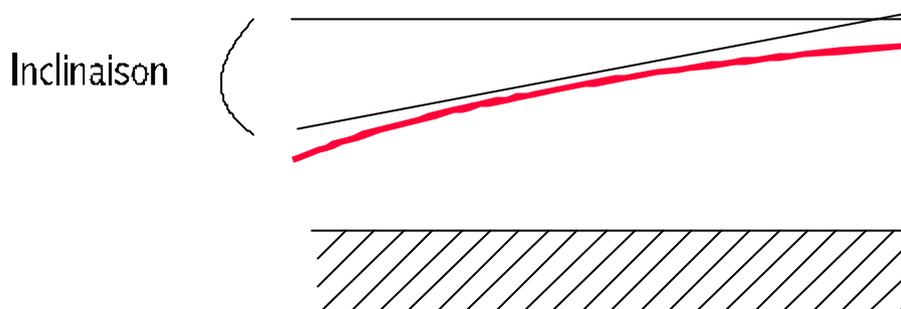
Bien entendu l'aimant est une image.

Bien que l'on en soit pas complètement certain, on pense aujourd'hui que ce champ magnétique est créé par les mouvements de magma riche en nickel et en fer dans le noyau externe de notre planète (la couche de matière en fusion située entre 2 800 et 5 000 km sous l'écorce terrestre).



Lignes de force du champ magnétique de la Terre

Pour un observateur à n'importe quel point de la planète, le champ magnétique a deux composantes. L'une, est la direction des lignes de force du champ magnétique, que nous donne une boussole classique en indiquant le Nord. Il faut noter que cette boussole n'indique pas le nord géographique mais magnétique. L'angle entre les deux est la déclinaison, il varie au cours du temps. L'autre, est l'inclinaison des lignes de force du champ magnétique par rapport à l'horizontale. Elle dépend de l'endroit où on se positionne sur le globe et on la mesure avec une aiguille aimantée tournant sur un axe horizontal. On appelle cela une boussole d'inclinaison et c'est ce que nous allons construire.



Inclinaison des lignes de force du champ magnétique

Visualisation des lignes d'un champ magnétique

Visualiser un champ magnétique sensiblement analogue à celui de la Terre.

Matériel nécessaire

- Un aimant droit.
- Un papier à dessin fort.
- De la limaille de fer.

Marche à suivre

- Disposer l'aimant sur une table.
- Mettre le papier fort au dessus de l'aimant en le calant éventuellement sur les côtés avec des baguettes de bois.
- Saupoudrer de limaille de fer. Tapoter doucement le papier.

Les particules de limaille de fer se disposent le long des lignes du champ magnétique qui sont alors visualisées.

On peut observer que les lignes de champ sont courbes le long du barreau et presque verticales aux deux pôles de l'aimant.

La boussole d'inclinaison

Construction d'une boussole d'inclinaison.

Matériel nécessaire

- Un aimant.
- Une boussole classique.
- 3 aiguilles, dont au moins 2 en acier.
- 2 grands verres.
- Un morceau de polystyrène expansé.
- Un rapporteur.

Marche à suivre

- Tout d'abord créer des aiguilles aimantées. Pour cela frotter suffisamment longtemps deux aiguilles en acier sur un aimant, les aiguilles sont alors momentanément magnétiques. Leur force d'attraction doit être assez forte.
- Planter les aiguilles aux deux extrémités du morceau de polystyrène.
- Planter une aiguille non aimantée en travers du polystyrène.
- Placer le tout en équilibre entre deux verres. Il faut que l'équilibre soit parfait, pour cela au besoin déplacer les aiguilles ou tailler le polystyrène.
- Faire pivoter le balancier dans la direction Nord-Sud que l'on obtient à l'aide de la boussole.

Nous venons de créer une boussole d'inclinaison. Le balancier va se pencher en oblique vers le Nord car il se place parallèlement aux lignes magnétiques qui entourent la Terre d'un pôle à l'autre. L'inclinaison du balancier par rapport à l'horizontale est la mesure que nous cherchons, elle sera prise à l'aide du rapporteur.

Selon l'endroit où l'on se trouve sur la planète cette angle est différent, il est d'environ 65° en Europe, il est de 90° au pôle Sud magnétique (aiguille verticale).

