

I.1 – ENERGIE RENOUVELABLE

I.1.1 – Définition

Une **énergie renouvelable** est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable car elle est issue des phénomènes naturels qui se reproduisent régulièrement ou constamment. C'est une énergie non polluante dont le gisement se renouvelle en permanence.

I.1.2 – Quelques types d'énergies renouvelables

➤ **L'énergie solaire**

Le soleil est à l'origine de presque toutes les énergies sur Terre. Le rayonnement solaire apporte à la Terre de la lumière et de la chaleur. Les capteurs photovoltaïques permettent de transformer la lumière en électricité. Tandis que la chaleur s'utilise par exemple pour le chauffage des bâtiments et de l'eau, le séchage des produits agricoles, etc...., grâce aux capteurs thermiques.



Fig I.1 – Capteur photovoltaïque

➤ **L'énergie éolienne**

Le vent est tout simplement causé par un réchauffement inégal de la surface terrestre par le Soleil. Ces inégalités créent des zones de températures et de pressions différentes : anticyclones pour les hautes pressions, dépressions pour les basses pressions. La pression cherchant naturellement à se rééquilibrer : des masses d'air se déplacent des anticyclones vers les dépressions. Et plus la dépression est importante, plus le vent ainsi créé est fort.

Des dispositifs appelés **éoliennes** permettent de transformer l'énergie cinétique du vent par exemple en énergie électrique après conversion en énergie mécanique. En effet, l'énergie du vent captée sur les pales de l'éolienne entraîne le rotor couplé à un générateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.



Fig I.2 – *Eoliennes*

➤ **L'énergie hydraulique**

L'énergie hydraulique sert principalement à obtenir de l'électricité.

Pour cela, l'énergie fournie par les chutes d'eau provoquées par l'ouverture d'un barrage fermant un lac de retenue avec une forte variation d'énergie potentielle permet de faire tourner des machines appelées **turbines hydrauliques**. Ces machines sont reliées à des alternateurs qui produisent du courant électrique. Il faut qu'il y ait alors une grande hauteur d'eau pour obtenir une efficacité maximale.



Fig 1.3 – Barrage hydraulique

➤ **L'énergie de la biomasse**

La biomasse est l'ensemble de la matière organique animale ou végétale.

L'énergie de la biomasse est une énergie extraite des matériaux biologiques. Le bois, les déchets agricoles et le fumier restent les principales sources de ce type d'énergie dans beaucoup de pays en voie de développement.

Ces végétaux, comme le bois, peuvent être brûlés pour dégager de la chaleur. L'énergie dégagée lors de la combustion de bois dans une chaudière est appelée « bois-énergie ».

Les déchets organiques constituent la "biomasse humide", ils peuvent être transformés en énergie ou en engrais. Par ailleurs, la chaleur dégagée par les usines d'incinération d'ordures ménagères sert, par exemple, à chauffer des immeubles, ce qui permet d'éviter d'utiliser du pétrole, du gaz, ou de l'électricité.

Grâce à la biomasse, on peut produire des carburants non polluants (biocarburants) à partir de végétaux comme la canne à sucre qui donne du bioéthanol. D'autres procédés permettent également la production de méthanol à partir de colza ou de betteraves.

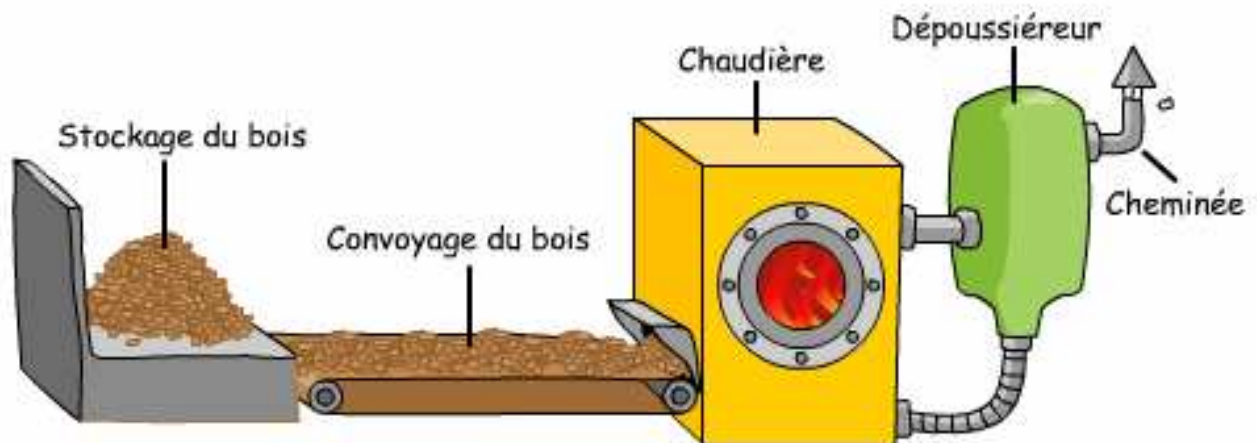


Fig I.4 – La chaufferie à bois

➤ **L'énergie géothermique**

Quand on creuse profondément sous terre, on constate que la température augmente au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le sol (en moyenne 3°C par 100 mètres). L'eau contenue dans les roches réservoirs du sous-sol est donc de l'eau chaude. Le principe de la géothermie est d'utiliser ces réservoirs pour récupérer une partie de la chaleur pour le chauffage et produire de l'électricité quand l'eau est suffisamment chaude.

La production de l'électricité s'obtient par la transformation de l'énergie thermique du fluide géothermique en énergie mécanique, puis grâce à un générateur en énergie électrique. Le fluide géothermique chaud passe à travers un coté d'un échangeur de chaleur pour chauffer une « pipe » dans laquelle circule le fluide de fonctionnement (dioxyde de carbone CO₂) qui se vaporise au contact de la chaleur d'origine géothermique, et fait tourner ensuite une turbine pour générer de l'électricité.

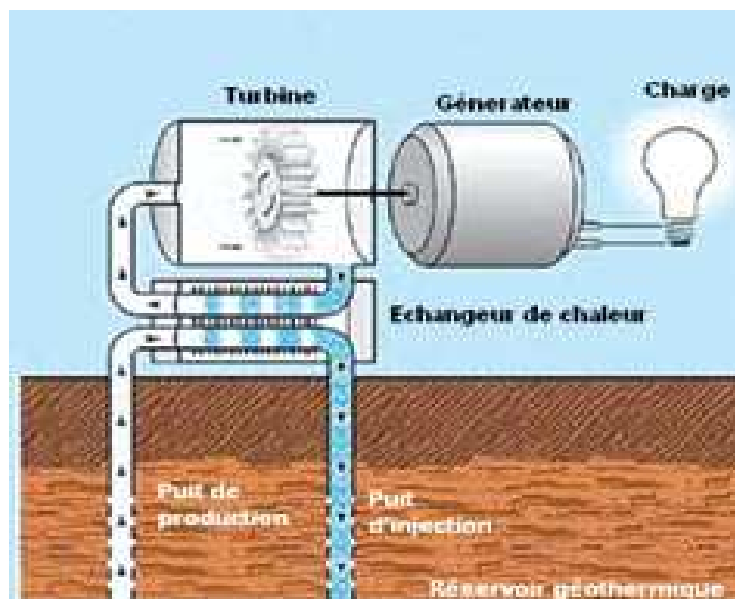


Fig 1.5 – Principe de conversion de l'énergie géothermique en énergie électrique

I.2 – NOTIONS DE L'ASTRONOMIE

I.2.1 – Les Etoiles, le Soleil et la Terre

➤ Les Etoiles

Les **Etoiles** sont les objets les plus nombreux que l'on puisse voir à l'œil nu le soir lorsque l'on regarde le ciel. Ce sont des astres actifs formés principalement des gaz en fusion brûlant à des températures très élevées. Elles sont très éloignées de la Terre et créent leur propre énergie lumineuse. C'est ce qui fait leur différence avec les autres corps célestes (planètes, lunes, astéroïdes) qui ne font que réfléchir la lumière des étoiles qui les éclairent.

Les plus grandes étoiles connues sont des étoiles évoluées appelées « les supergéantes ». Elles ont un diamètre supérieur à quatre cents fois celui du Soleil. Leur masse est comprise entre un dixième et quarante fois celle du Soleil. En revanche, les plus petites étoiles, appelées « naines blanches », dont le diamètre peut être cent fois inférieur à celui du Soleil, sont extrêmement denses.

Le nombre d'étoiles visibles à l'œil nu depuis la Terre a été estimé à huit mille au total, dont une moitié dans l'hémisphère Nord du ciel, l'autre dans l'hémisphère Sud. À un instant donné de la nuit, dans l'un ou l'autre hémisphère, deux mille étoiles sont visibles en moyenne ; les autres sont masquées par la brume atmosphérique, particulièrement près de l'horizon.



Fig I.6 – *Les étoiles*

➤ **Le Soleil**

Le **Soleil** est une étoile géante composée principalement d'hydrogène et d'hélium. Cette boule gazeuse très chaude de 1,4 millions de kilomètres de diamètre est l'astre qui brille le plus près de la Terre c'est pourquoi il éclaire nettement celle-ci. Il est âgé de 4,5 milliards d'années et est actuellement au milieu de sa vie. Ses températures de surface et au centre peuvent atteindre respectivement 6000°C et 15 millions de degrés Celsius. Cette sphère gazeuse qui pèse $1,98.10^{30}$ kg a une puissance de rayonnement (luminosité) de $3,85.10^{26}$ W. L'atmosphère solaire est constituée d'une couche d'environ 500 km d'épaisseur (**photosphère**), d'une région épaisse de 2000 km (**chromosphère**) située immédiatement au-dessus de la précédente et d'une couronne représentant la partie externe de cette atmosphère solaire.

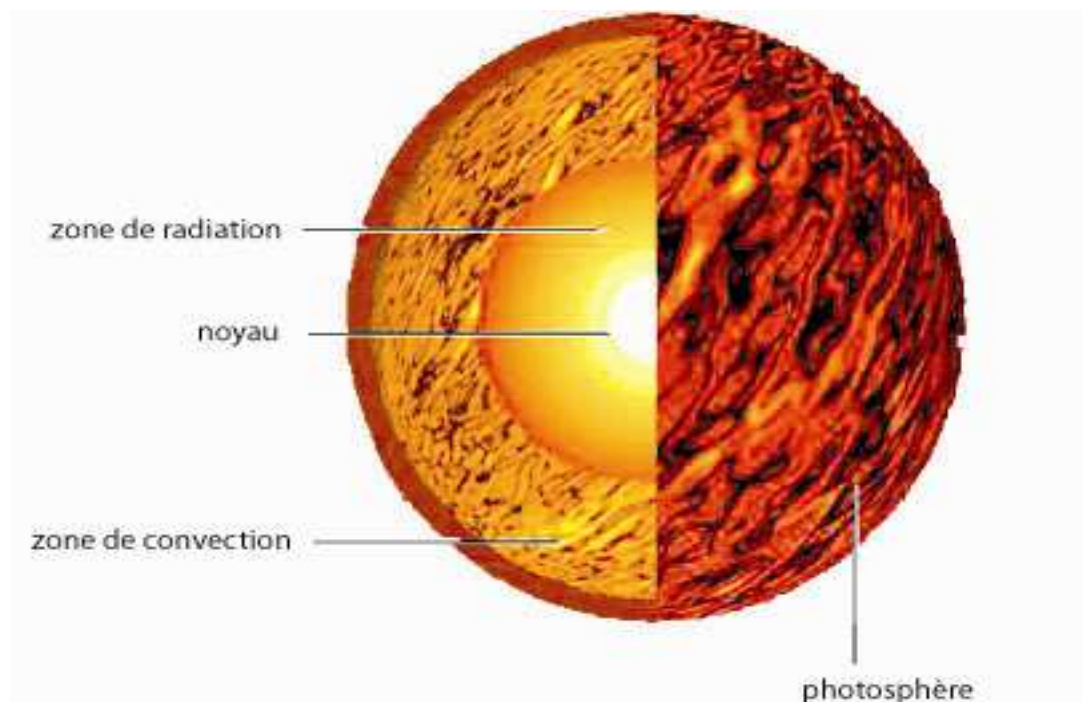


Fig 1.7 – *Le Soleil*

➤ **Le Système Solaire**

Le **Système Solaire** est l'ensemble constitué principalement du Soleil et de neuf planètes tournant autour du premier. Ces planètes peuvent être regroupées en deux catégories : les planètes telluriques ou internes composées de Mercure, de Vénus, de Mars et de la Terre sont les plus proches du Soleil, relativement petites et constituées de roches et de fer, et les planètes géantes ou externes (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune), beaucoup plus grandes, et dont l'hydrogène et l'hélium sont les principaux constituants.

Pluton, par sa densité, peut appartenir à la deuxième catégorie de planètes mais sa petite taille (deux tiers de celle de la Lune), son orbite inclinée et très excentrique pourraient suffire à la classer comme astéroïde le plus grand et le plus lointain connu. Cette planète est constituée de roche comme les planètes telluriques.

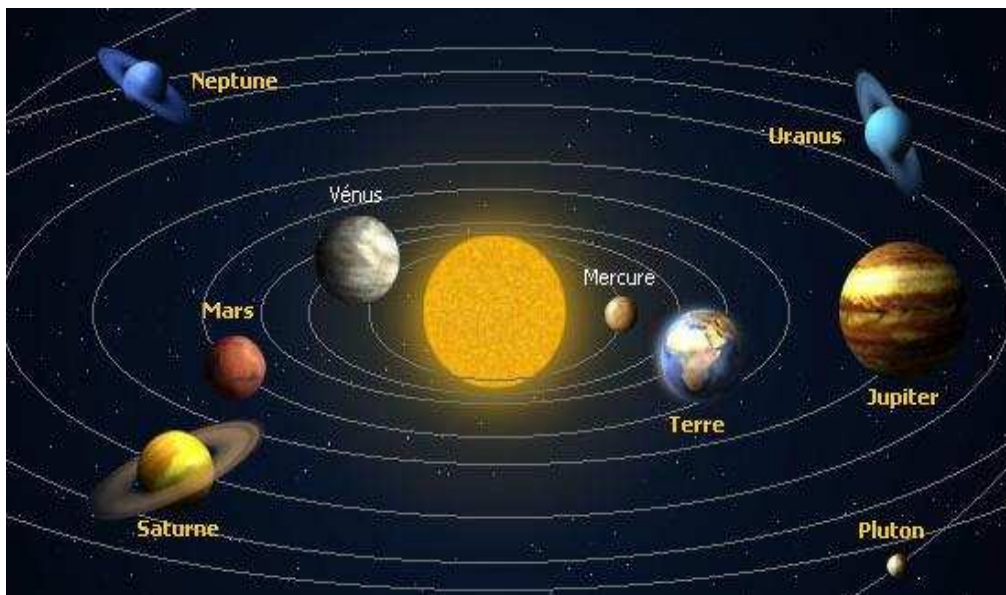


Fig I.8 – Le Système Solaire

➤ **La Terre**

La **Terre** est la seule planète du Système Solaire où l'on trouve jusqu'à présent des formes de vie. Elle n'est pas une sphère parfaite : la distance des deux pôles est environ 12713 km tandis que le diamètre équatorial est de 12756 km.



Fig 1.9 - La Terre

La Terre est entourée d'une enveloppe gazeuse appelée **atmosphère terrestre** qui se divise en plusieurs couches successives :

- ❖ La **troposphère** est la couche la plus proche du sol, son épaisseur variable peut atteindre 13 km où l'on peut avoir une température - 60°C.

Les gaz qui forment notre atmosphère viennent du centre de la Terre. Les volcans au début de l'existence de la Terre expulsent ces gaz.

Le gaz carbonique, la vapeur d'eau, l'ozone et certaines particules en suspension dans l'air (par exemple les polluants) sont les constituants les plus importants dont la quantité varie dans le temps.

Nom du gaz	Pourcentage présent
Azote (N ₂)	78 %
Oxygène (O ₂)	21 %
Argon (A)	0,93 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)	0 – 4 %
Gaz carbonique (CO ₂)	0,033 %
Néon (Ne)	0,0018 %
Krypton (Kr)	0,000114 %
Hydrogène (H)	0,00005 %
Oxyde d'azote (NO ₂)	0,00005 %
Xénon (Xe)	0,0000087 %
Ozone (O ₃)	0 – 0,00001 %

Source :[44]

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère près de la surface terrestre

La température et la pression atmosphérique varient avec l'altitude.

Altitude [m]	Température [°C]	Pression [HPa]
0	15	1013
1000	8,5	899
2000	2	795
3000	- 4,5	701
4000	- 11	616
5000	- 17,5	540
6000	- 24	472
7000	- 30,5	410
8000	- 37	357
9000	- 43,5	307
10000	- 50	264
15000	- 56,5	120
20000	- 56,5	55

Source :[44]

Tableau I.2 : Variation de températures et de pression

- ❖ La **stratosphère** est la couche juste au-dessus de la troposphère, c'est là où se trouve la **couche d'ozone** qui est très importante pour la protection des êtres vivants contre les rayons ultraviolets. La température augmente de -60°C à 0°C où l'altitude est de 50 km.
- ❖ La **mésosphère** est une couche de 50 km à 80 km d'altitude, la température diminue de nouveau avec l'altitude jusqu'à -90°C .
- ❖ La **thermosphère** (ionosphère) est la couche la plus élevée de l'atmosphère. Elle se situe environ entre 80 km et 600 km d'altitude. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre une centaine de degrés Celsius.

La température de la surface terrestre et celle au sein du noyau sont respectivement de l'ordre de 15°C et 6000°C . Cette planète Terre qui pèse $5,9742 \cdot 10^{24}$ Kg a le même âge que le Soleil, elle se trouve à une distance moyenne de l'ordre de 150 millions de kilomètres de ce dernier.

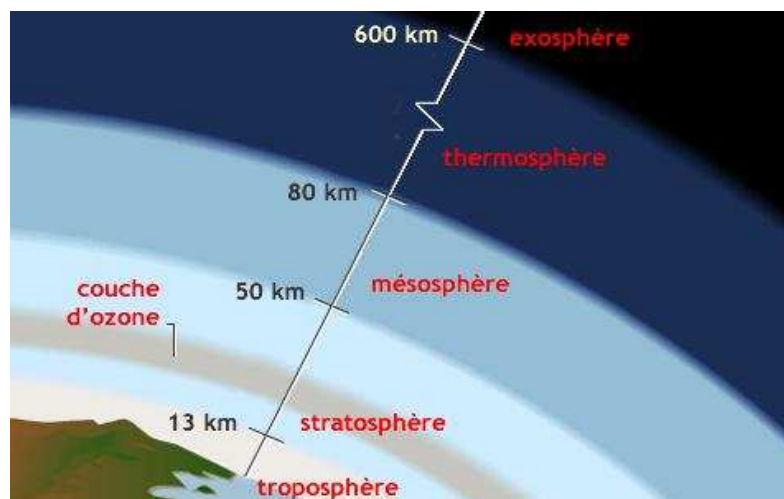


Fig I.10 – Les couches de l'atmosphère

	Altitude [Km]	Pression [HPa]
	600	10 ⁻⁸
THERMOSPHERE	85	0,01
MESOSPHERE	50	2
STRATOSPHERE	40	3
	25	26
	13	264
TROPOSPHERE	5	540
	1	899

The diagram shows a temperature profile of the atmosphere. The temperature starts at +15°C at 1 km altitude and decreases to -56°C at 13 km. It then increases to -54°C at 25 km, where the ozone layer is located. The temperature continues to rise to -5°C at 40 km, reaches 0°C at 50 km, and finally drops to -90°C at 85 km. The layers are labeled as TROPOSPHERE (1-5 km), STRATOSPHERE (5-50 km), MESOSPHERE (50-85 km), and THERMOSPHERE (above 85 km).

Source : [44]

Tableau I.3 : Température et couches de l'atmosphère

I.2.2 – Quelques définitions

- ❖ On appelle **voûte céleste** la partie du ciel visible de la Terre. La sphère correspondante est appelée **sphère céleste** qui est une sphère imaginaire où sont situés les objets célestes. Les pôles et l'équateur de cette sphère sont appelés **pôles** et **équateur célestes**.
- ❖ Le **zénith** est le point directeur de la sphère céleste, qui est représentatif de la verticale ascendante en un lieu donné.
- ❖ L'**horizon** est un grand cercle théorique de la sphère céleste situé dans le plan perpendiculaire à la verticale du lieu considéré.
- ❖ L'**écliptique** est la trajectoire apparente du Soleil au cours de l'année.
- ❖ Le **point vernal** γ est un des deux points de la sphère céleste où l'écliptique et l'équateur céleste se croisent.

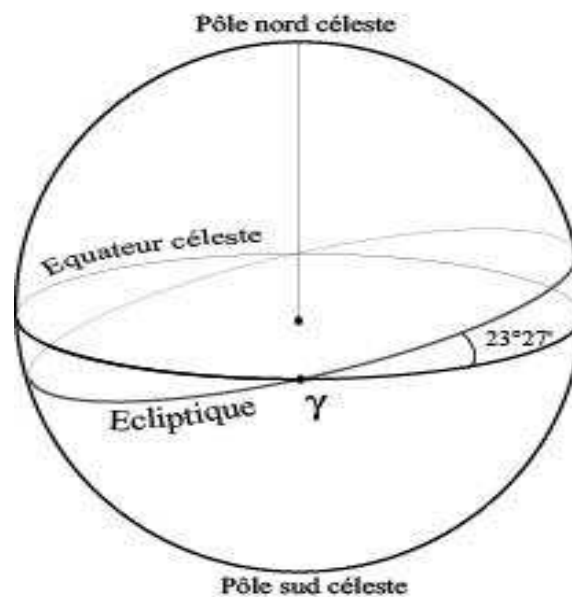


Fig I.11 – *Sphère céleste*

- ❖ Les **pôles Nord et Sud** sont les extrémités de l'axe de rotation de la Terre.
- ❖ L'**équateur terrestre** est le grand cercle conventionnel à la surface du globe terrestre perpendiculaire à l'axe des pôles. Il divise le globe en deux parties appelées **hémisphère Nord** (hémisphère boréal) et **hémisphère Sud** (hémisphère austral).
- ❖ Tout cercle imaginaire de la surface du globe parallèle à l'équateur est appelé **parallèle**.
- ❖ Un **méridien** est un grand cercle théorique passant par les pôles Nord et Sud. Le méridien passant par Greenwich est appelé **méridien d'origine** (méridien de Greenwich).
- ❖ Les **tropiques du Cancer et du Capricorne** sont les parallèles du globe terrestre situés respectivement à 23°27' de latitude Nord et - 23°27' de latitude Sud.
- ❖ La surface du globe terrestre est divisée en 24 fuseaux géométriques imaginaires ayant les 2 pôles pour extrémités. Chaque fuseau appelé **fuseau horaire** a tous ses points soumis à la même heure légale.



Fig I.12 – Les fuseaux horaires

- ❖ Les **équinoxes** (21 Mars et 21 Septembre) sont les deux moments de l'année où la durée du jour est la même que celle de la nuit.
- ❖ Le **solstice d'été** (21 Décembre) est le jour le plus long de l'année. Le jour le plus court de l'année est le **solstice d'hiver** (21 Juin).

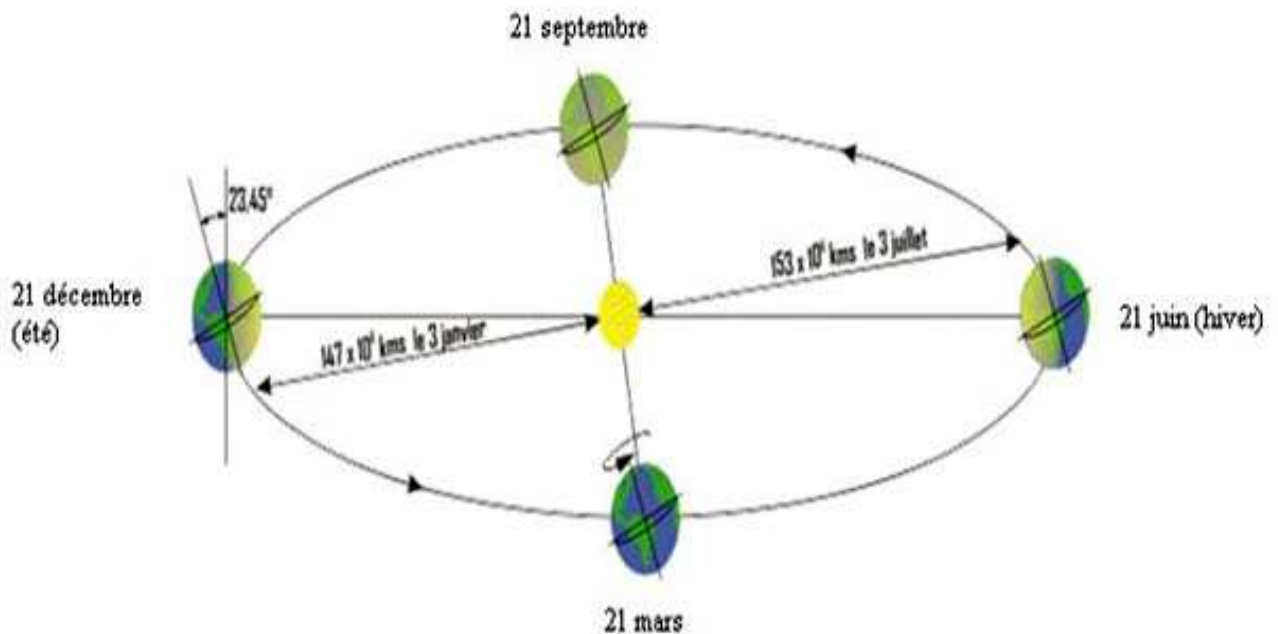


Fig I.13 – Mouvement de la Terre autour du Soleil

I.3 - NOTIONS DE TEMPS

Le **Temps Solaire Vrai (TSV)** en un lieu est la mesure horaire de l'angle formé par le plan de la direction du Soleil et du pôle céleste avec celui du méridien du lieu. C'est le temps indiqué par les cadrans solaires. Le jour correspondant est le jour solaire vrai. Mais au cours de l'année, la durée de ce jour n'est pas constante, elle varie entre 24h 00mn 30s et 23h 59mn 39s.

Le **Temps Solaire Moyen (TSM)** est le temps solaire vrai corrigé de ses inégalités. Ce temps correspond à la durée du jour égale à 24h.

Par définition, l'**Equation du Temps (ET)** [6] est l'écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen. Son expression est donnée par la formule suivante:

$$ET = 0,0002 - 0,14187 \cos(\omega'.d_1) + 7,3509 \sin(\omega'.d_1) + 3,2265 \cos(2\omega'.d_1) + 9,3912 \sin(2\omega'.d_1) + 0,0903 \cos(3\omega'.d_1) + 0,3361 \sin(3\omega'.d_1) \quad (I-1)$$

Avec

$$\omega' = \frac{2\pi}{366} \quad (I-2)$$

$$d_1 = 30 (mo - 1) + dd \quad (I-3)$$

mo : numéro d'ordre du mois dans l'année

dd : numéro d'ordre du jour dans le mois

Le **Temps Légal (TL)** est le temps utilisé sur tout le territoire d'un pays considéré (heure indiquée par les montres).

La formule (I - 4) donne la relation entre **TL** et **TSV**.

$$TSV = TL - NF + \frac{Lo}{15} + \frac{ET}{60} \quad (I-4)$$

TL et **TSV** s'expriment en heures

NF : numéro du fuseau horaire

Lo : longitude du lieu en degrés

Le graphique suivant montre les variations annuelles de l'Equation du Temps (courbe bleue, ordonnée de gauche) et de la durée du jour solaire au cours de l'année par rapport à 24 heures (courbe verte, ordonnée de droite).

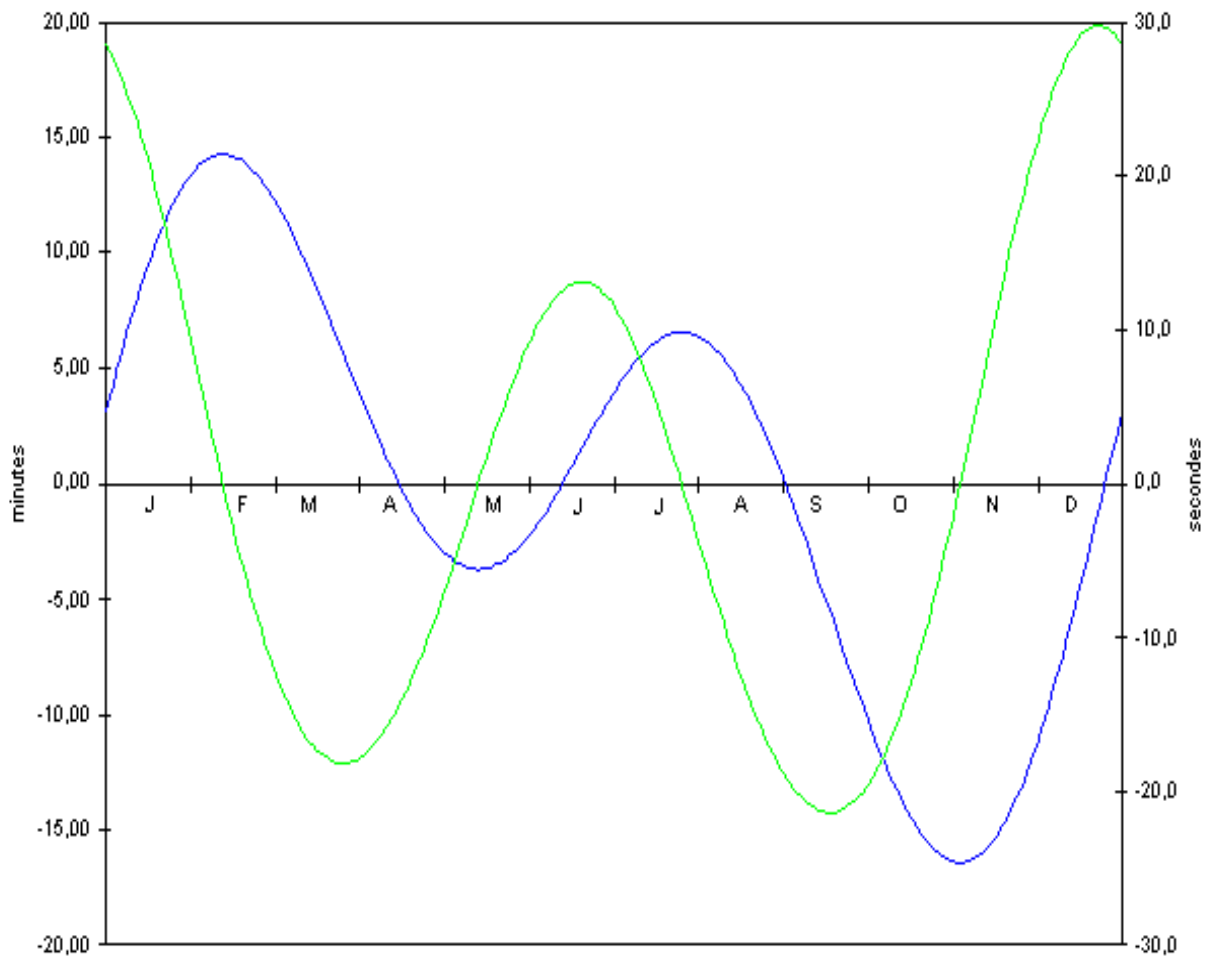


Fig. I.14 : Courbe des variations annuelles de l'Equation du Temps