



# Le système solaire

## (1<sup>ère</sup> partie)





## Table des matières

<b>De quoi est composé le système solaire ? .....</b>	<b>4</b>
<b>Au fait... Où se trouve le système solaire ? .....</b>	<b>5</b>
<b>Qu'est-ce qu'une planète ? .....</b>	<b>6</b>
• <b>Et Pluton alors ?.....</b>	<b>6</b>
• <b>Distinction entre planètes telluriques et planètes gazeuses.....</b>	<b>7</b>
Les planètes telluriques : .....	7
Les planètes gazeuses : .....	7
<b>Les mouvements des planètes.....</b>	<b>8</b>
• <b>Les 3 lois de Kepler :.....</b>	<b>8</b>
1ere loi : .....	8
2ème loi : .....	8
3ème loi : .....	8
<b>Les positions relatives des planètes.....</b>	<b>10</b>
<b>La formation du système solaire.....</b>	<b>12</b>
• <b>L'accrétion : .....</b>	<b>12</b>
• <b>La phase de maturité.....</b>	<b>13</b>
• <b>Grand bombardement tardif .....</b>	<b>13</b>
<b>Notes : .....</b>	<b>14</b>
<b>Notes : .....</b>	<b>15</b>

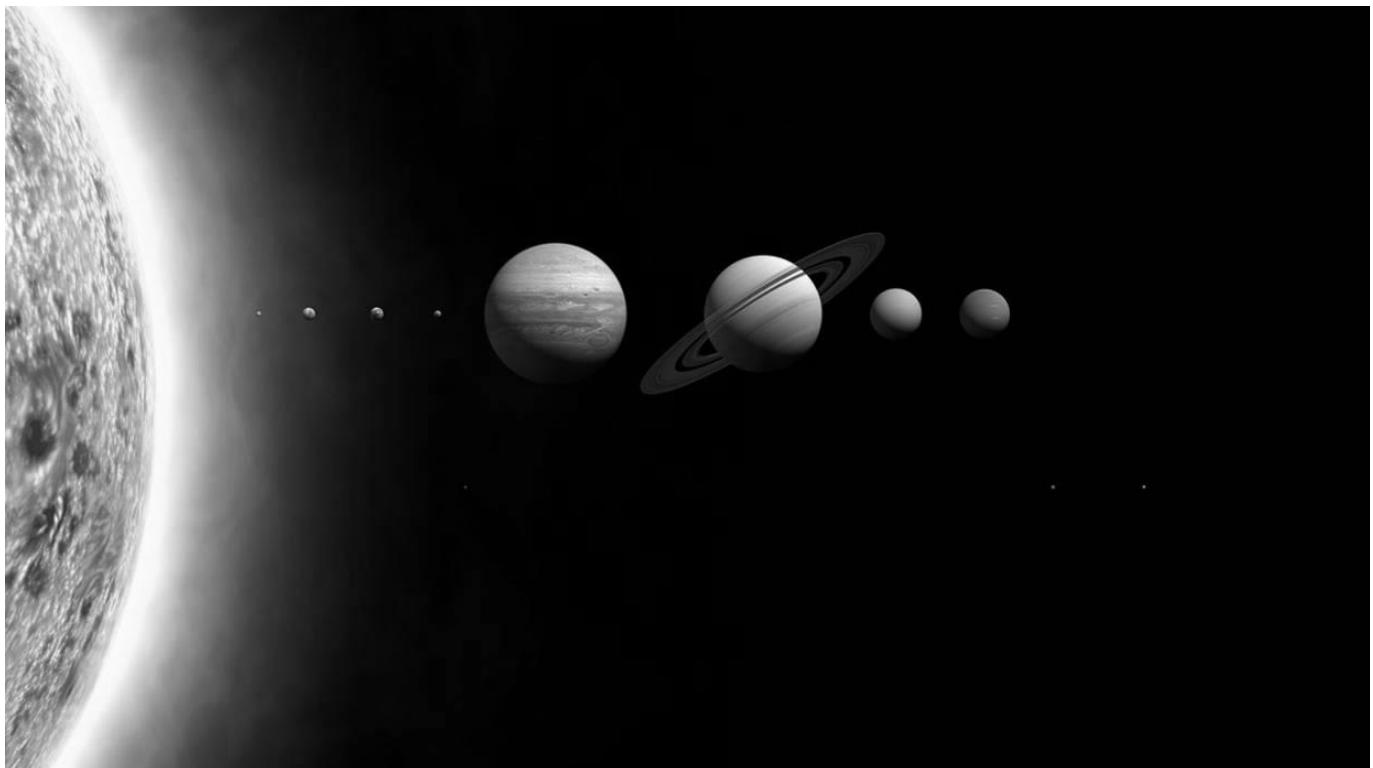
## De quoi est composé le système solaire ?

Le système solaire est composé de divers éléments :

- **Une étoile : le Soleil**, a lui seul il contient plus de 99,8% de la masse total du système solaire ;
  - **De 8 planètes et leur cortège de satellites** : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune ;
  - **De 5 planètes naines** : Cérès, Pluton, Eris, Makemake, Haumea ;
- Plutoïdes
- **Des astéroïdes** (plusieurs milliards dont la plupart orbitent entre Mars et Jupiter) ;
  - **Des comètes** (qui seraient rassemblées dans un immense réservoir situé aux confins du système solaire : Le nuage de Oort) ;
  - **La ceinture de Kuiper** (au-delà de l'orbite de Neptune contenant des petits corps glacés) ;

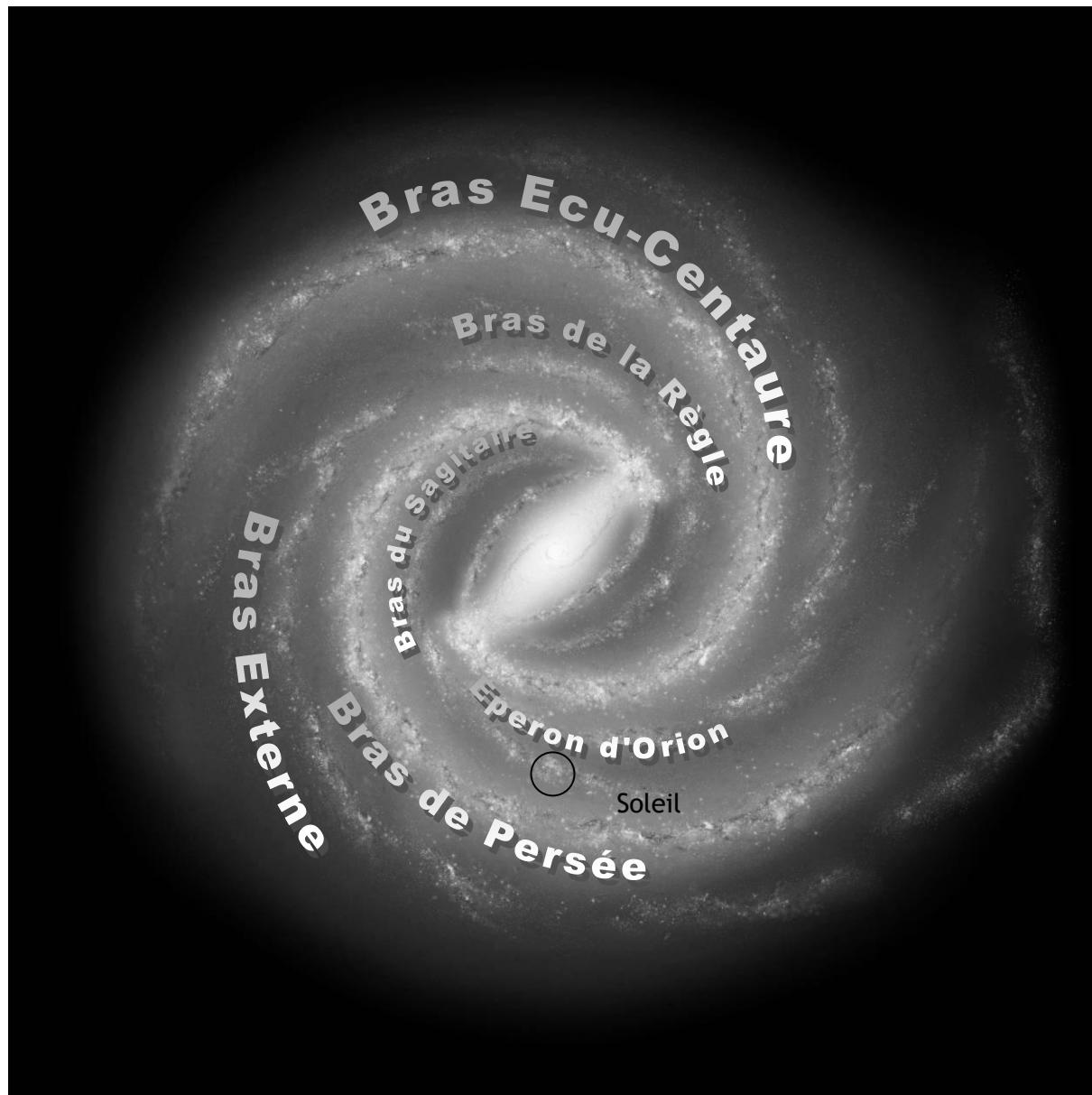
Le tout baigne dans **Le Milieu Interplanétaire** (rayonnement électromagnétique, plasma chaud, particules de poussière microscopiques et champs magnétiques).

**Donc un milieu très varié qui se distingue par sa diversité.**



## Au fait... Où se trouve le système solaire ?

Il suffit de savoir où se trouve le Soleil...



Le Soleil fait partie d'un système encore plus vaste composé d'environ 200 milliards d'étoiles :  
Une Galaxie.

La notre porte le nom de **Voie Lactée**.

Cette galaxie à une forme de disque d'un diamètre de 90 000 années-lumière\* avec des bras qui se répartissent en spirale à partir d'un noyau central.

Le Soleil se trouve à 26 000 années-lumière du centre, autour duquel il tourne. Il lui faut 225 millions d'années pour effectuer une révolution.

\*1 année lumière = 9,46053<sup>12</sup> km, soit 10 000 milliards de km.

## Qu'est-ce qu'une planète ?

Pour se voir attribuer le qualificatif de planète, un corps céleste doit remplir les conditions de la résolution 5A adoptée lors de la 26<sup>ème</sup> assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale, à Prague (République Tchèque), le 28 août 2006.

**Une planète est un corps céleste qui :**

- Est en orbite autour du Soleil ;
- A une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme pratiquement sphérique ;
- A éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche.

**Une planète naine est un corps céleste qui :**

- Est en orbite autour du Soleil ;
- A une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme pratiquement sphérique ;
- N'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche ;
- N'est pas un satellite.

Tous les autres objets en orbite autour du Soleil – comètes, astéroïdes, etc... - sont appelés des « **Petits corps du système solaire** ».

**Selon ces critères, le système solaire compte donc 8 planètes :**

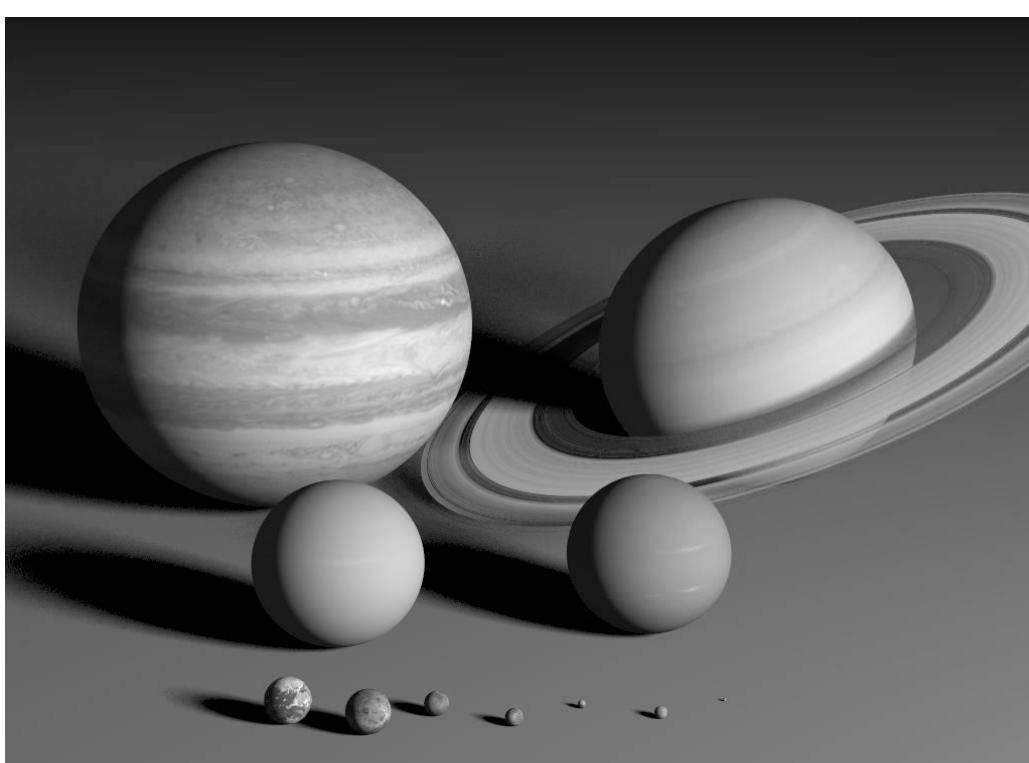
Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

### • Et Pluton alors ?

Le dernier critère des planètes n'étant pas rempli par Pluton, celle-ci a donc été reclassée dans la catégorie “Planètes naines”, tout comme l’astéroïde Cérès, ainsi que Eris , Makemake et Haumea se trouvant dans la ceinture de Kuiper.

Des dizaine de corps du système solaire sont potentiellement des planètes naines : 2003EL61, 2005FY9, Sedna, Orcus, Quaoar, Varuna, Ixion...

Mais aussi les astéroïdes Vesta, Pallas, Hygiea...

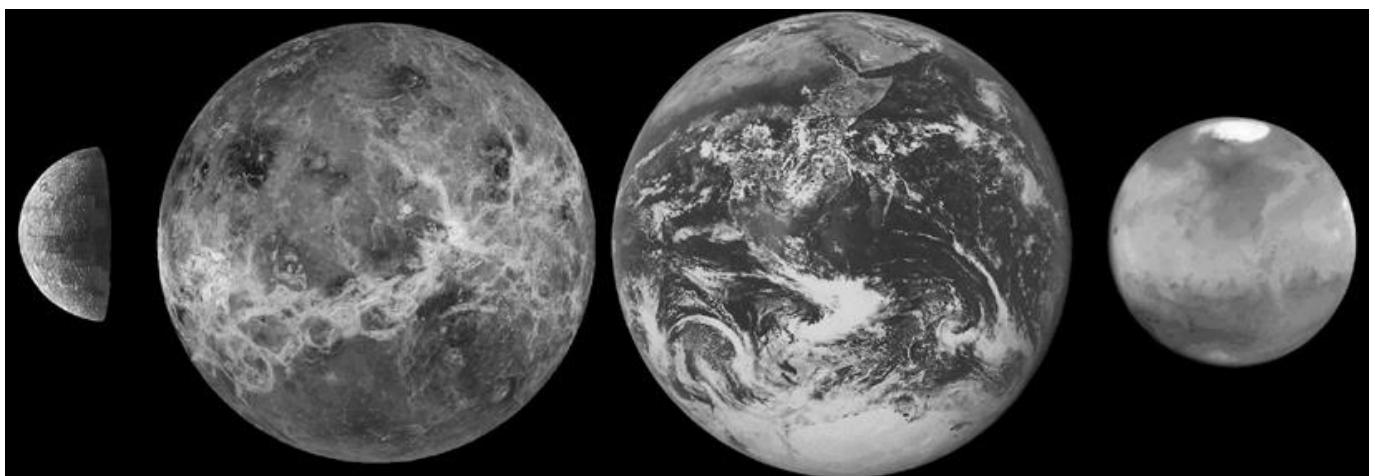


- **Distinction entre planètes telluriques et planètes gazeuses.**

Les neufs planètes du système solaire sont classés en deux grandes classes :

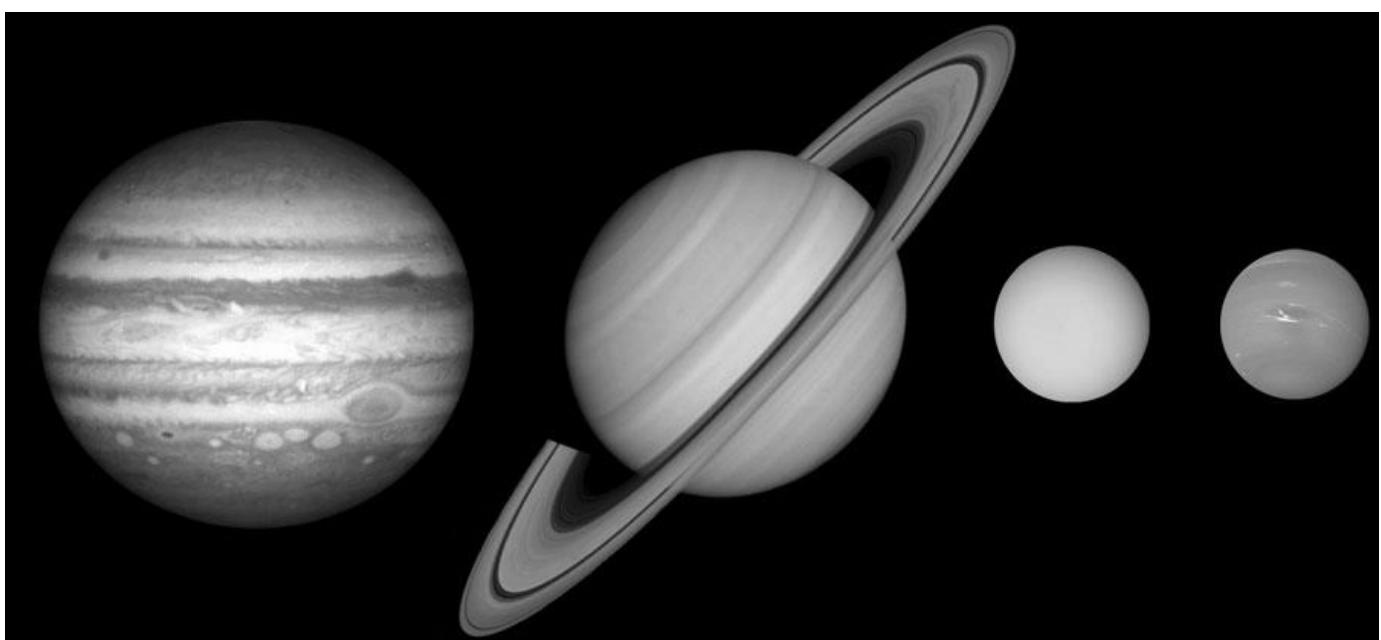
**Les planètes telluriques** : Mercure, Vénus, Terre et Mars.

Les planètes telluriques sont principalement composées de roches et de métaux et ont une densité relativement élevée, une rotation lente, une surface solide, pas d'anneaux et peu de satellites. Elles sont situées dans la banlieue proche du Soleil.



**Les planètes gazeuses** : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

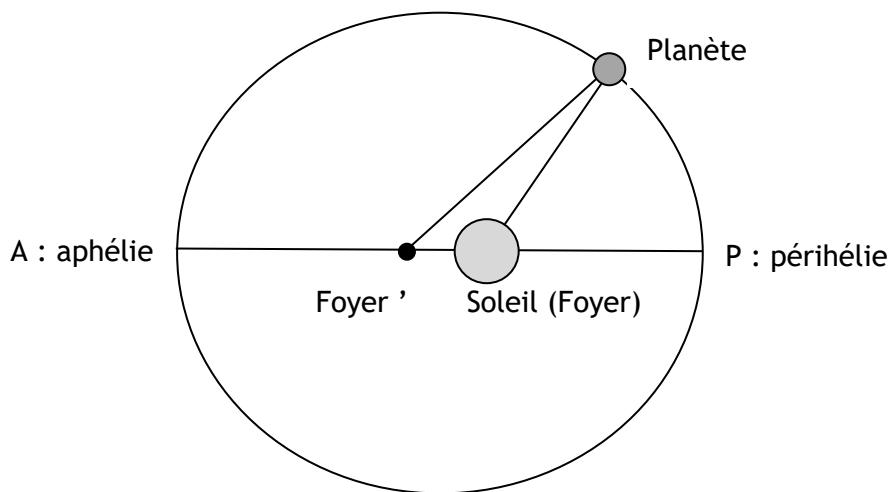
Les planètes gazeuses (ou géantes) se trouvent plus éloignées du soleil. Elles sont principalement composées d'hydrogène (H) et d'hélium (He), sont très massive et très volumineuses mais peu dense. Elles ont une rotation rapide, des anneaux et beaucoup de satellites.



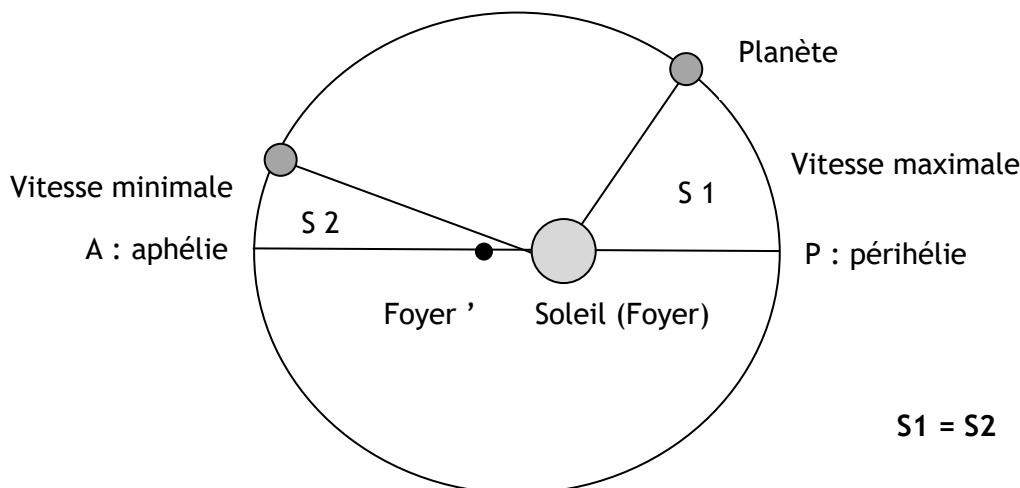
## Les mouvements des planètes.

- Les 3 lois de Kepler :

**1<sup>ère</sup> loi :** Les planètes décrivent autour du Soleil des orbites en forme d'ellipse. Le Soleil n'est pas au centre de l'ellipse mais sur le côté, en un point nommé « foyer ».



**2<sup>ème</sup> loi :** La ligne qui relie la planète au Soleil balaie des aires égales en des temps égaux.



**3<sup>ème</sup> loi :** Pour toutes les planètes tournant autour du Soleil, les carrés des périodes de révolution des planètes sont directement proportionnels aux cubes des demi-grands axes de leurs orbites respectives.

$$\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3 = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$$

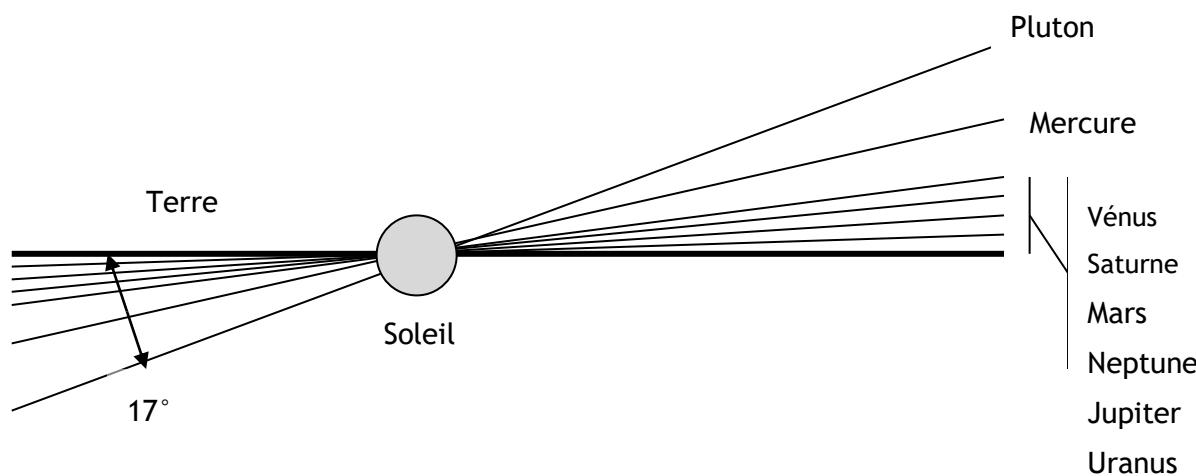
Conséquence : plus elles sont éloignées du soleil, plus l'année (période de révolution) est longue.

La loi se vérifie bien comme le montre le tableau suivant :

(Si l'on prend l'année comme unité de temps et l'Unité Astronomique comme mesure de distance, la formule de proportionnalité se simplifie en  $T^2 = R^3$  ).

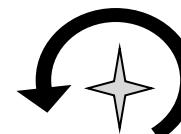
Planète	P	d	T <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>
Mercure	0.24	0.39	0.06	0.06
Venus	0.62	0.72	0.39	0.37
Terre	1.00	1.00	1.00	1.00
Mars	1.88	1.52	3.53	3.51
Jupiter	11.9	5.20	142	141
Saturne	29.5	9.54	870	868

Ces orbites sont approximativement toutes dans le même plan (appelé écliptique et qui est défini comme étant le plan de l'orbite de la Terre).

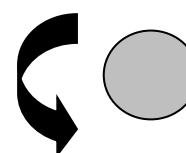


Les planètes tournent toutes dans la même direction.

(Sens trigonométrique si on se place au-dessus du pôle nord du Soleil)



Et à l'exception de Vénus et d'Uranus, leur rotation est aussi dans la même direction.

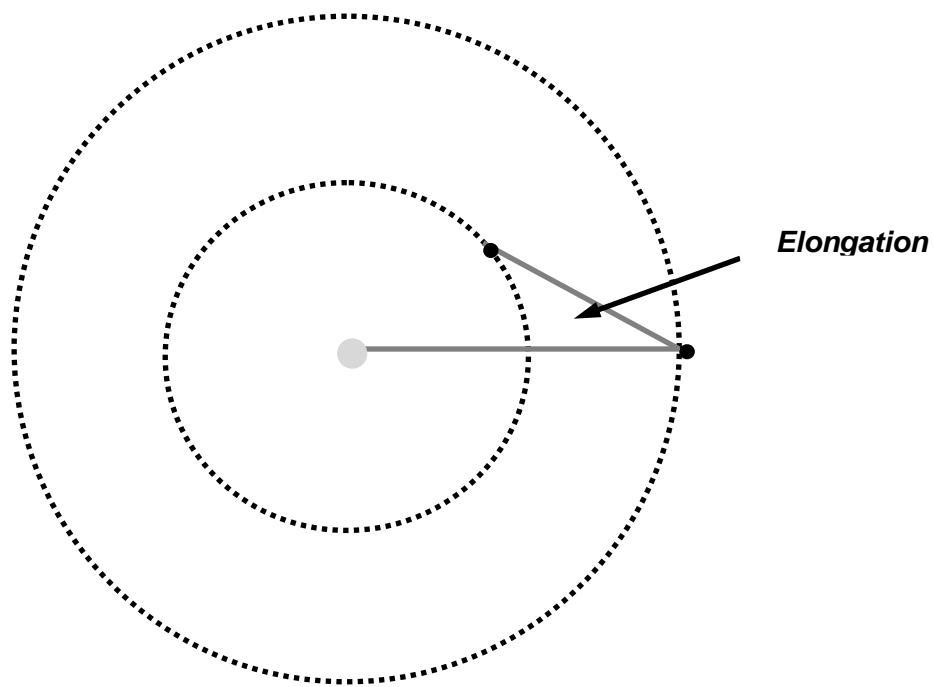


## Les positions relatives des planètes.

On appelle **planètes supérieures** celles dont l'orbite contient l'orbite de la Terre.

On appelle **planètes inférieures** celles dont l'orbite est contenue dans l'orbite de la Terre.

On repère une planète par rapport à son éloignement apparent du Soleil (vu depuis la Terre). L'angle entre la position du Soleil et celle de la planète se nomme **élongation** :



### La conjonction :

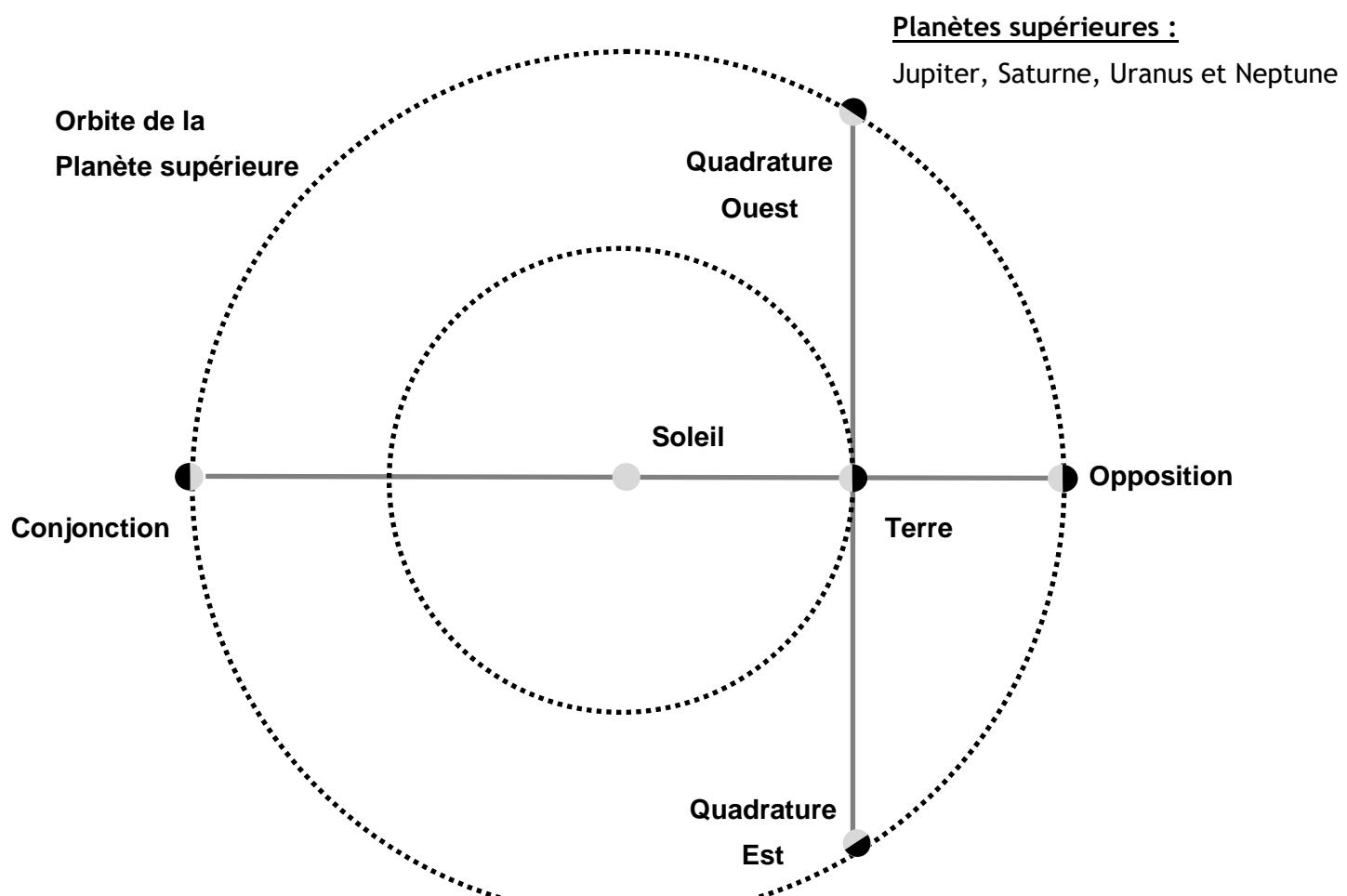
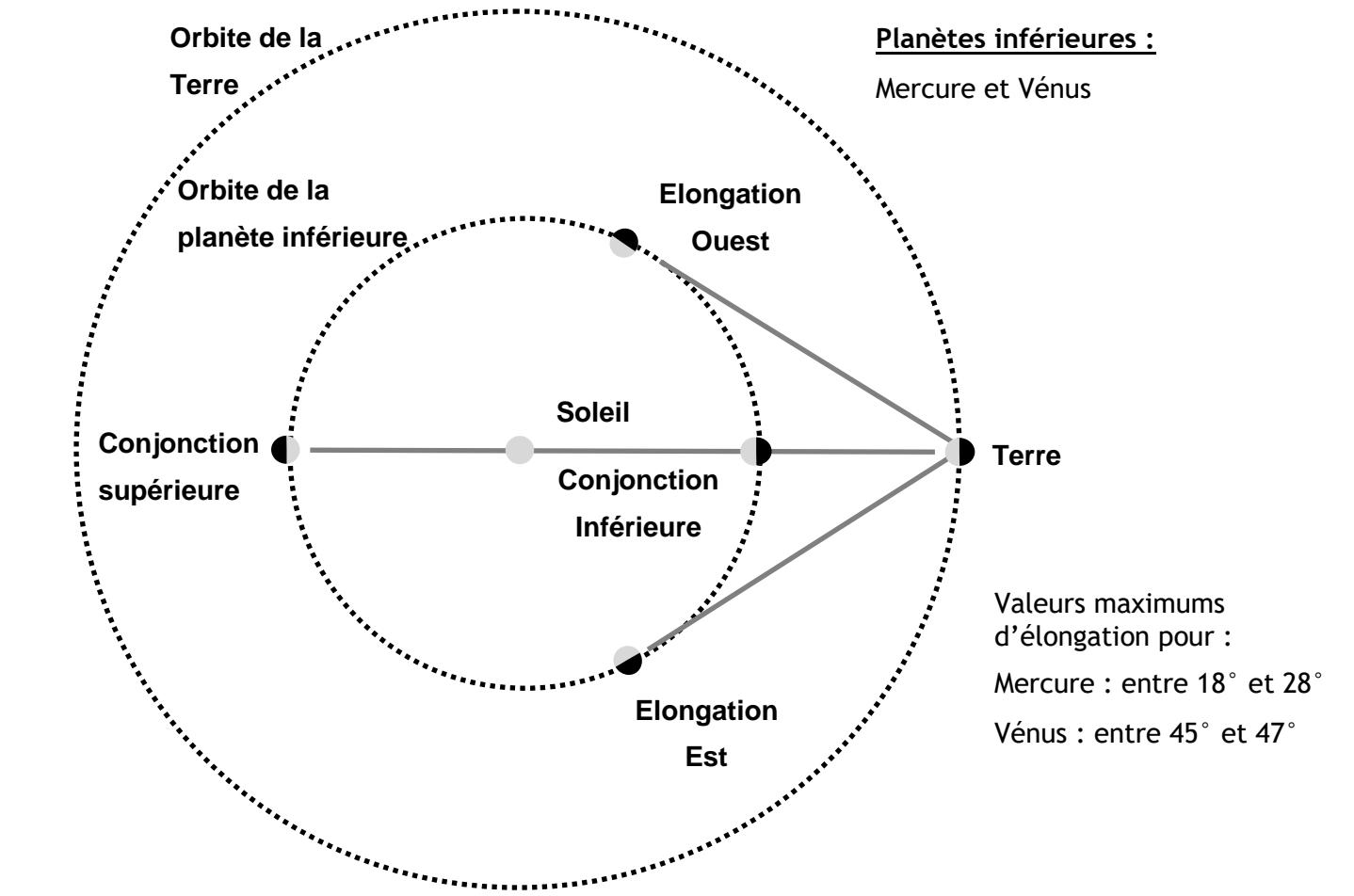
En pratique, la conjonction entre deux astres se traduit par leur rapprochement dans le ciel. Les planètes inférieures présentent avec le Soleil une conjonction inférieure lorsqu'elles s'interposent entre le Soleil et la Terre, et une conjonction supérieure lorsqu'elles passent derrière le Soleil. Les planètes supérieures ne présentent qu'une seule conjonction, qui est supérieure.

### L'opposition :

Configuration présentée par deux astres dont l'élongation dans le ciel est de  $180^\circ$ . Seules les planètes supérieures présentent une opposition au Soleil par rapport à la Terre.

### La quadrature :

Configuration présentée par deux astres dont l'élongation est de  $90^\circ$ . (Dans le cycle des phases de la Lune, le *premier quartier* et le *dernier quartier* correspondent aux époques où la Lune et le Soleil sont en quadrature.) ; Seules les planètes supérieures présentent des positions de quadrature au Soleil par rapport à la Terre.

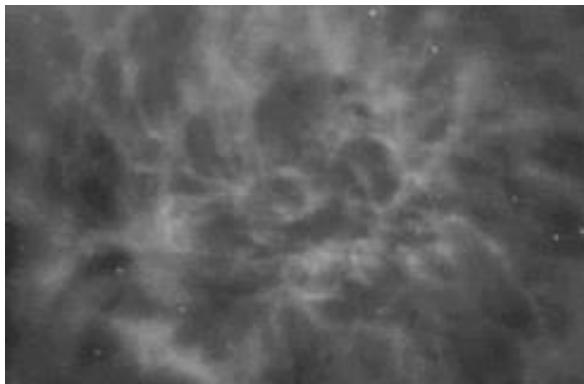


## La formation du système solaire.

A la question : quelle est l'origine du système solaire ?

On s'entend pour dire qu'il s'est condensé à partir d'une nébuleuse de poussière et de gaz mais les détails sont loin d'être clairs.

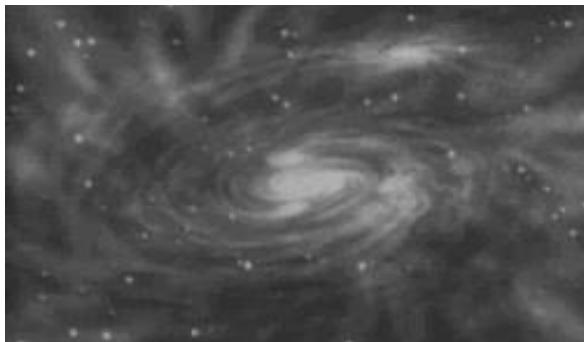
Néanmoins nous pouvons élaborer le scénario suivant :



Ainsi donc, notre système solaire s'est formé à partir d'une nébuleuse, dite primitive.

On y trouve déjà tous les éléments qui composent actuellement notre système solaire. Pour les principaux citons : le carbone (C), l'azote (N), l'oxygène (O) et divers minéraux. Mais il y a surtout de l'hydrogène (H) et de l'hélium (He) qui sont les 2 composantes nécessaires à la création d'une étoile, ici, le Soleil.

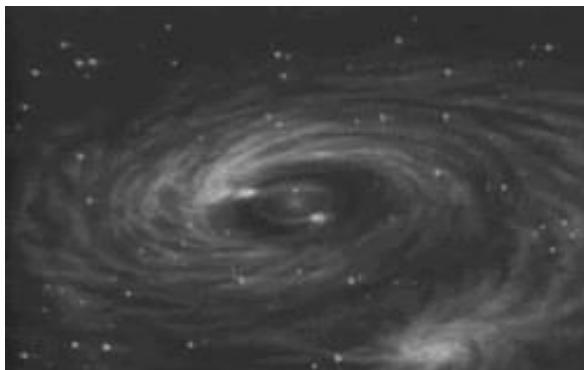
C'était il y a 4,6 milliards d'années. La Galaxie avait, quant à elle, à peu près 10 milliards d'années. Plusieurs générations d'étoiles s'y étaient déjà succédées.



Sous l'effet de la gravitation, ce nuage de poussière commence à se concentrer autour d'un centre et à former un disque.

(Durée : 100 000 ans)

A la longue, ce centre attire une quantité toujours plus importante de matières provoquant des renouvellements extrêmement violents de celle-ci créant de l'énergie partiellement dissipée sous forme de chaleur (10 millions °C).



Comme la masse de ce nouvel astre augmente, son attraction fait de même, amplifiant le phénomène précédemment expliqué jusqu'à former une boule énorme de 15 millions °C : le Proto-Soleil.

Le disque qui entoure le Proto-Soleil se refroidit et commence à se solidifier pour former des grains de matière. A ce moment, se met en place le phénomène d'accrétion.



- L'accrétion :

Lorsque les grains ne vont pas trop vite et se percutent, ils forment des planétoïdes. Puis, ils se rassemblent entre eux et forment une planète tellurique. Ce processus dure entre 50 et 100 millions d'années.

Les gaz les plus légers tels l'hydrogène ou l'hélium feront de même pour former des planètes gazeuses.

## • La phase de maturité.

Plus la planète est massive, plus grande est sa chaleur initiale. A leur naissance, les planètes les plus importantes sont des boules de lave incandescentes. La chaleur finit par se dissiper.

Les corps les plus petits se refroidissent les premiers, assez rapidement ; la Lune s'est refroidie en environ 300 millions d'années et Mercure, qui était un peu plus massive, a mis une centaine de millions d'années de plus.

A ce stade, l'astre est totalement pétrifié et son aspect n'est plus modifié notablement par une quelconque activité volcanique, par exemple. On peut parler d'astre mort.

Mars est entre le stade de Mercure et celui de la Terre, ayant en grande partie, épuisé ses réserves thermiques initiales.

La Terre, sous l'avalanche météoritique, semble être restée « liquide » pendant plusieurs centaines de millions d'années. La première croûte stable n'apparaît qu'au terme de cette période. Actuellement, la Terre a encore une grande activité géologique qui témoigne de sa « vie ».

## • Grand bombardement tardif

Le **grand bombardement tardif** (ou *Late Heavy Bombardment* : LHB en anglais) est une période théorique de l'histoire du système solaire s'étendant approximativement de 4,1 à 3,9 milliards d'années, durant laquelle se serait produite une notable augmentation des impacts météoriques ou cométaires sur les planètes telluriques.

L'existence de cette période de grands bombardements météoriques n'est pas avérée, mais elle est déduite des datations des roches lunaires rapportées par les missions du programme Apollo qui ont atteint la Lune, qui indiquent que ses sols ont un âge d'environ 4 milliards d'années, soit plusieurs centaines de millions d'années de moins que le Système solaire lui-même. Ce résultat surprit la communauté scientifique qui pensait alors que la période de bombardement intense des planètes par les corps de plus petite taille avait eu lieu essentiellement immédiatement après la formation du Système solaire. L'existence d'un bombardement plus tardif conduisit à l'élaboration d'un scénario dans lequel un événement astronomique notable a pu causer une reprise de ce bombardement sur la Lune, et plus largement, l'ensemble du Système solaire interne, plusieurs centaines de millions d'années après sa formation. Le **modèle de Nice** qui présente un scénario convaincant de la formation du système solaire, explique ce grand bombardement tardif par la migration des planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune), qui aurait produit diverses résonances, conduisant à déstabiliser les ceintures d'astéroïdes existantes à cette période.

### Le scénario est le suivant :

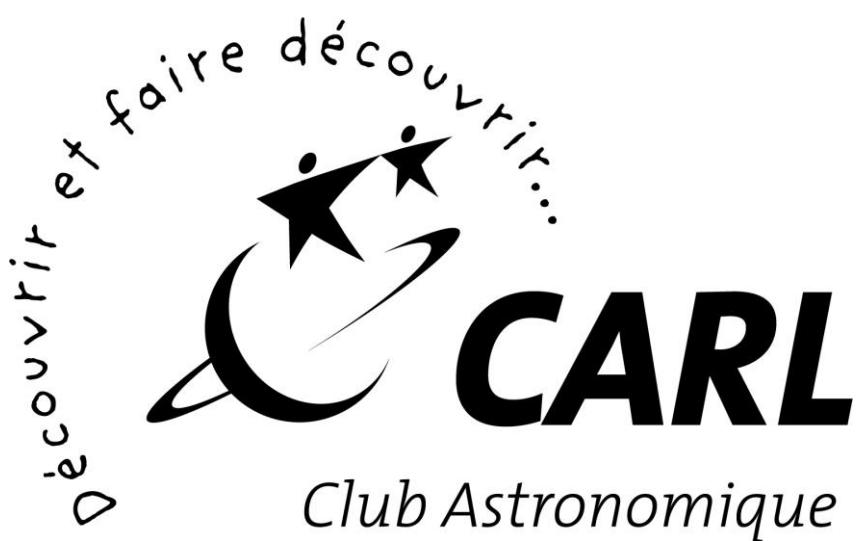
Tant que Jupiter et Saturne ne sont pas en résonance orbitale, la configuration est dans un état relativement stationnaire. Au moment du passage en résonance 2:1 de Saturne, celle-ci acquiert une excentricité orbitale importante, lui permettant d'atteindre lors de l'aphélie de son orbite des régions éloignées du Système solaire. Elle devient alors susceptible d'interagir avec Uranus et Neptune, qui se trouvent fortement perturbées. En particulier Neptune connaît une très brusque variation du rayon de son orbite (variation expliquée par le modèle de Nice), celui-ci faisant plus que doubler, devenant plus grand que celui d'Uranus, qui augmente également. Cette augmentation du rayon de l'orbite de Neptune perturbe très fortement le disque externe de planétésimaux, dont une partie est expulsée du système solaire, une seconde partie migre vers des régions plus externes, donnant naissance à la ceinture de Kuiper, et une dernière petite partie migre vers des régions plus internes. Cette dernière va pour partie entrer en collision avec les planètes telluriques, causant le grand bombardement tardif. Les planétésimaux expulsés forment de loin la population la plus importante : plus de 99 % de la masse totale.

Outre sa capacité à expliquer une formation des croûtes terrestre et lunaire 600 millions d'années plus récentes que la formation du système solaire, le scénario du grand bombardement tardif explique un certain nombre d'autres caractéristiques du système solaire :

- La présence de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter
- La présence des astéroïdes troyens...
- La masse de la ceinture de Kuiper, de seulement 0,1 masse terrestre...
- L'inclinaison de Neptune...
- Le nuage de Oort...

## **Notes :**

## **Notes :**



## Club Astronomique de la Région Lilloise

MRES - 23, rue Gosselet - 59000 LILLE

Tél. : 03 20 85 99 19

Mail : carl@nordnet.fr

<http://www.astro-carl.com>