

# MAXI FICHES

# Géologie

Laurent Emmanuel  
Marc de Rafélis  
Ariane Pasco

*4<sup>e</sup> édition*

DUNOD

Tout le catalogue sur  
**[www.dunod.com](http://www.dunod.com)**



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2007, 2011, 2014, 2018

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-078502-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Avant-propos                                          | 1  |
| <b>1</b> Le système solaire                           | 2  |
| <b>2</b> Le champ magnétique terrestre                | 6  |
| <b>3</b> Composition chimique de la Terre             | 8  |
| <b>4</b> La datation relative                         | 11 |
| <b>5</b> La datation absolue                          | 15 |
| <b>6</b> Le bilan thermique de la Terre               | 19 |
| <b>7</b> Les circulations atmosphériques              | 23 |
| <b>8</b> La structure physico-chimique des océans     | 25 |
| <b>9</b> Les circulations océaniques                  | 29 |
| <b>10</b> La théorie astronomique du climat           | 33 |
| <b>11</b> Les propriétés de l'eau                     | 35 |
| <b>12</b> Le cycle de l'eau                           | 37 |
| <b>13</b> Le cycle du carbone                         | 41 |
| <b>14</b> Le cycle de l'azote                         | 45 |
| <b>15</b> La structure interne de la Terre            | 47 |
| <b>16</b> Le géoïde                                   | 49 |
| <b>17</b> Les anomalies gravimétriques                | 51 |
| <b>18</b> L'isostasie                                 | 53 |
| <b>19</b> Les minéraux : généralités                  | 55 |
| <b>20</b> Les critères de reconnaissance des minéraux | 57 |
| <b>21</b> Le microscope polarisant                    | 59 |

|           |                                                              |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>22</b> | <b>Les principales familles de minéraux</b>                  | <b>63</b>  |
| <b>23</b> | <b>Les roches magmatiques</b>                                | <b>65</b>  |
| <b>24</b> | <b>Les différents types de volcans</b>                       | <b>69</b>  |
| <b>25</b> | <b>Les roches sédimentaires</b>                              | <b>71</b>  |
| <b>26</b> | <b>Le manteau et la convection mantellique</b>               | <b>75</b>  |
| <b>27</b> | <b>Les roches métamorphiques</b>                             | <b>79</b>  |
| <b>28</b> | <b>Croûte continentale et croûte océanique</b>               | <b>83</b>  |
| <b>29</b> | <b>La morphologie des océans</b>                             | <b>85</b>  |
| <b>30</b> | <b>Les marges passives</b>                                   | <b>87</b>  |
| <b>31</b> | <b>Marges actives et arcs insulaires actifs</b>              | <b>89</b>  |
| <b>32</b> | <b>Les dorsales et la lithosphère océanique</b>              | <b>92</b>  |
| <b>33</b> | <b>La subduction</b>                                         | <b>95</b>  |
| <b>34</b> | <b>Collision et obduction</b>                                | <b>98</b>  |
| <b>35</b> | <b>Les déformations de la croûte terrestre : les plis</b>    | <b>100</b> |
| <b>36</b> | <b>Les déformations de la croûte terrestre : les failles</b> | <b>104</b> |
| <b>37</b> | <b>Les séismes</b>                                           | <b>107</b> |
| <b>38</b> | <b>La genèse des magmas</b>                                  | <b>110</b> |
| <b>39</b> | <b>Anatexie</b>                                              | <b>113</b> |
| <b>40</b> | <b>La fusion partielle</b>                                   | <b>115</b> |
| <b>41</b> | <b>La cristallisation fractionnée</b>                        | <b>117</b> |
| <b>42</b> | <b>Les points chauds</b>                                     | <b>121</b> |
| <b>43</b> | <b>Cinématique ou mouvement des plaques</b>                  | <b>123</b> |
| <b>44</b> | <b>Dérive des continents et paléogéographie</b>              | <b>126</b> |
| <b>45</b> | <b>Le métamorphisme</b>                                      | <b>128</b> |

|           |                                                       |            |
|-----------|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>46</b> | Les processus d'altération                            | <b>130</b> |
| <b>47</b> | Altération et climats                                 | <b>134</b> |
| <b>48</b> | Les environnements sédimentaires                      | <b>138</b> |
| <b>49</b> | La profondeur de compensation des carbonates (CCD)    | <b>140</b> |
| <b>50</b> | Les dépôts océaniques actuels                         | <b>142</b> |
| <b>51</b> | Les variations du niveau marin                        | <b>146</b> |
| <b>52</b> | La diagenèse                                          | <b>150</b> |
| <b>53</b> | L'hydrothermalisme sous-marin                         | <b>154</b> |
| <b>54</b> | Les glaciers et le relief glaciaire                   | <b>156</b> |
| <b>55</b> | Les glaciations                                       | <b>159</b> |
| <b>56</b> | Hydrogéologie                                         | <b>163</b> |
| <b>57</b> | Les ressources minérales                              | <b>165</b> |
| <b>58</b> | De la matière organique au pétrole                    | <b>169</b> |
| <b>59</b> | Les hypothèses sur l'origine de la vie                | <b>172</b> |
| <b>60</b> | L'échelle des temps géologiques                       | <b>175</b> |
| <b>61</b> | Les fossiles                                          | <b>179</b> |
| <b>62</b> | La fossilisation et ses modalités                     | <b>181</b> |
| <b>63</b> | Les grandes étapes de l'évolution                     | <b>183</b> |
| <b>64</b> | Les crises biologiques                                | <b>185</b> |
| <b>65</b> | L'apparition de l'homme                               | <b>188</b> |
| <b>66</b> | Les météorites                                        | <b>192</b> |
| <b>67</b> | Les tsunamis                                          | <b>194</b> |
| <b>68</b> | Les catastrophes naturelles : prévention et prévision | <b>196</b> |
| <b>69</b> | Les pierres précieuses                                | <b>198</b> |

|           |                                               |            |
|-----------|-----------------------------------------------|------------|
| <b>70</b> | <b>Les satellites en sciences de la Terre</b> | <b>200</b> |
| <b>71</b> | <b>La carte topographique</b>                 | <b>202</b> |
| <b>72</b> | <b>La carte géologique</b>                    | <b>204</b> |
| <b>73</b> | <b>La magnétostratigraphie</b>                | <b>208</b> |
| <b>74</b> | <b>Géomorphologie</b>                         | <b>210</b> |
| <b>75</b> | <b>Les Alpes</b>                              | <b>213</b> |
| <b>76</b> | <b>Les Pyrénées</b>                           | <b>217</b> |
| <b>77</b> | <b>Les bassins sédimentaires</b>              | <b>223</b> |
| <b>78</b> | <b>Le réchauffement climatique actuel</b>     | <b>227</b> |
| <b>79</b> | <b>Les énergies non conventionnelles</b>      | <b>229</b> |
| <b>80</b> | <b>Le cycle des roches</b>                    | <b>231</b> |
| <b>81</b> | <b>Les méthodes d'analyses en géosciences</b> | <b>232</b> |
| <b>82</b> | <b>Mars, éléments de géologie martienne</b>   | <b>234</b> |
|           | <b>QCM</b>                                    | <b>240</b> |
|           | <b>Questions de révisions</b>                 | <b>249</b> |
|           | <b>Solutions des QCM</b>                      | <b>254</b> |
|           | <b>Réponses aux questions de révision</b>     | <b>255</b> |
|           | <b>Orientation bibliographique</b>            | <b>261</b> |
|           | <b>Index alphabétique</b>                     | <b>262</b> |

# Avant-propos

Devenu une référence des étudiants mais aussi des lycéens et du grand public averti, la 4<sup>e</sup> édition de *MaxiFiches de Géologie* s'attache à maintenir et améliorer ce qui a fait son succès : proposer un large panorama des géosciences avec concision et précision dans les thématiques abordées via une mise en page et une iconographie rassurante.

La sensibilisation du citoyen aux manifestations naturelles de la planète et aux problèmes environnementaux ne cesse actuellement de se développer. Cet intérêt croissant de notre société doit s'accompagner d'une pérennisation de l'enseignement des Sciences de la Terre dans les programmes du secondaire et des premières années d'études universitaires. Dans le domaine des géosciences, les ouvrages généralistes et de spécialités se sont, ces dernières années, considérablement multipliés tout en garantissant aux lecteurs de tous niveaux un accès de qualité à une discipline située aux interfaces de la biologie, de la physique et de la chimie. Cet ouvrage permettra au lecteur de trouver, sous forme de fiches synthétiques de deux à six pages, les notions fondamentales et d'aspects plus spécialisés ou méthodologiques en Sciences de la Terre et de l'Univers en couvrant un large spectre de thématiques géologiques et en décrivant les principaux processus intervenant dans les différentes enveloppes terrestres : du noyau à la surface, de l'hydrosphère à l'atmosphère en passant par la biosphère et son évolution.

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants du premier cycle universitaire, mais le contenu doit également permettre aux élèves de classes de Terminale et de classes préparatoires ainsi que toutes personnes curieuses des phénomènes géologiques de mieux appréhender les manifestations spécifiques de notre planète Terre. Les précédentes rééditions avaient permis d'enrichir la première version par l'ajout de nouvelles fiches pour y intégrer des notions de géologie régionale (Alpes, Pyrénées) ou d'actualité (géologie martienne). Nous nous sommes attachés à poursuivre cette démarche en proposant de nouvelles figures qui viendront plus clairement illustrer les notions de base comme les processus géologiques plus complexes.

Chacune des fiches de cet ouvrage peut être lue indépendamment les unes des autres mais une attention particulière a été portée aux renvois vers les fiches associées. Les processus détaillés et leurs quantifications, les approches historiques d'un concept ou les critiques de modèles anciens ou actuels sont à chercher dans des ouvrages plus classiques tels que ceux présentés dans la bibliographie généraliste. Pour renforcer ce caractère rassurant du format « fiche », les auteurs ont privilégié la présence de nombreuses figures et tableaux parfois au détriment du texte. Aussi, les illustrations utilisées dans cet ouvrage sont, pour la plupart, originales ou correspondent à des versions simplifiées d'ouvrages généralistes. Enfin, le lecteur trouvera également, en fin d'ouvrage, des exercices, des QCM (accompagnés de leurs corrections) pour se familiariser avec les notions présentées dans ces fiches.

Nous souhaitons à ce titre plus particulièrement remercier les auteurs successifs d'*Éléments de géologie* (Dunod) ainsi que de nombreux collègues français et étrangers de nous avoir permis d'utiliser certaines de leurs figures. Nous souhaitons également vivement remercier Alexandre Lethiers (infographiste à l'Institut des Sciences la Terre de Sorbonne Université, Paris) pour la réalisation de plus grande partie des illustrations de cet ouvrage. La révision de cette quatrième édition n'aurait pu être tout à fait complète sans les remarques constructives de nombre de nos collègues en Sciences de la Terre de différentes universités mais aussi de nos lecteurs.

# 1

# Le système solaire

## Mots clés

Étoile, Galaxie, Planètes gazeuses, Planètes telluriques

Le système solaire est une communauté ordonnée comprenant **une étoile** (le Soleil), **huit planètes** (Pluton n'étant plus considérée comme une planète depuis le 24 août 2006), une centaine de milliers de satellites, des météorites, des astéroïdes et des comètes.

## 1. GÉNÉRALITÉS

L'âge du système solaire est aujourd'hui estimé à **4,56 milliards d'années**. Sa formation rapide (de l'ordre de 200 Ma) s'est effectuée en trois étapes : **condensation** du nuage protosolaire puis **accrétion** et **différenciation**. Il est situé dans la galaxie de la **Voie Lactée**. Les distances y sont mesurées en unités astronomiques (U.A.), une U.A. correspondant à la distance Terre-Soleil.

La frontière de ce système correspond à un nuage de comètes (le nuage d'Oort), situé à plus de 60 000 U.A. du Soleil soit environ 2 000 fois plus éloigné que la plus lointaine des planètes (Neptune, 30 U.A.).

## 2. LE SOLEIL

Le Soleil est une étoile sphérique de taille modeste (695 000 km de rayon) constituée essentiellement d'hydrogène (73 %) et d'hélium (25 %) et qui représente 99 % de la masse totale du système solaire. Il tourne sur lui-même avec une période de 27 jours environ. Il est le siège de réactions nucléaires (**fusion**) très intenses qui libèrent l'énergie sous forme d'un rayonnement de photons et de neutrinos ou de vent solaire (plasma de protons et d'électrons).

Le Soleil n'étant pas « solide », il est difficile de déterminer ses limites exactes. On sépare donc sa structure interne de son « atmosphère » grâce à la diminution de densité de ses gaz.

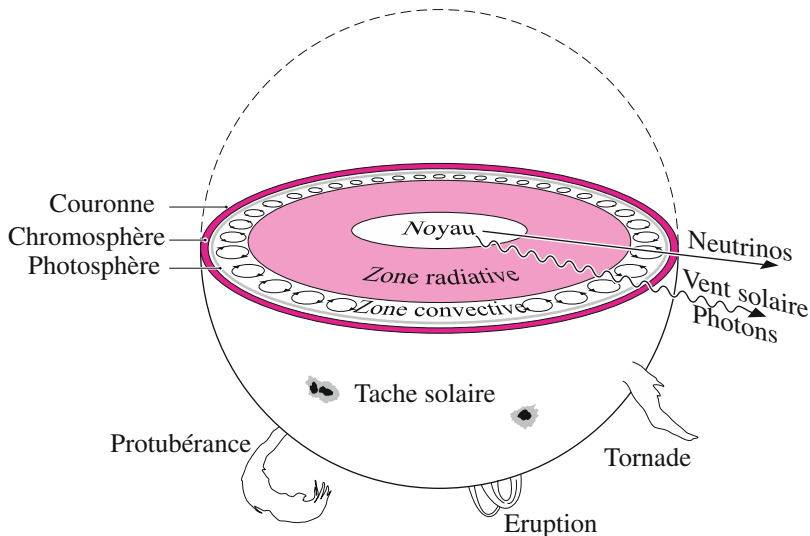


Figure 1.1 – La structure du Soleil.

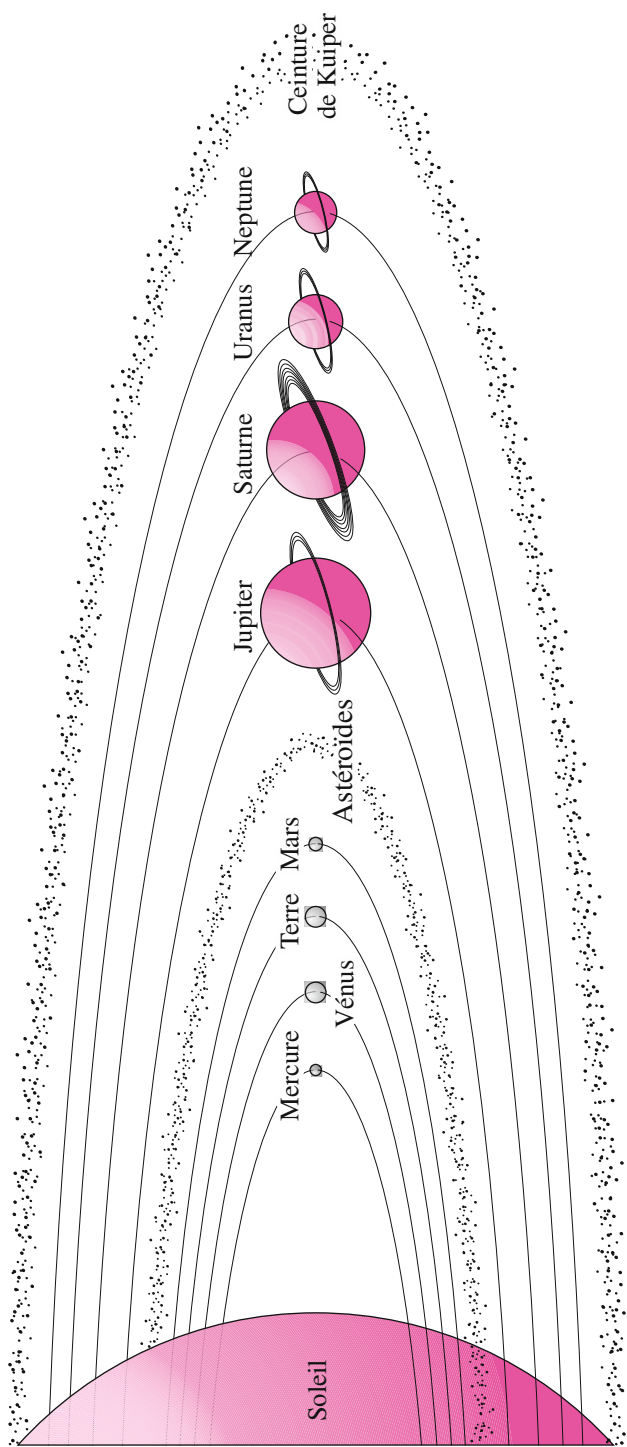


Figure 1.2 – Le système solaire (échelle non respectée).

Sa structure est donc :

|                   | Enveloppes      | Caractéristique                                                                                                                                                | Rayon ou épaisseur       |
|-------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Structure interne | Noyau ou cœur   | Très dense ( $d = 150$ )<br>$T^{\circ} = 15.10^6\text{ }^{\circ}\text{C}$                                                                                      | $R = 150\,000\text{ km}$ |
|                   | Zone radiative  | $d = 15$<br>$T^{\circ} = 10^6\text{ }^{\circ}\text{C}$<br>Chaleur évacuée par radiation.                                                                       | $R = 350\,000\text{ km}$ |
|                   | Zone convective | $d$ et $T^{\circ}$ diminuent ( $T^{\circ}$ d'environ $6-7\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<br>Chaleur évacuée par convection.                                   | $R = 200\,000\text{ km}$ |
| Atmosphère        | Photosphère     | $T^{\circ}$ varie de $8\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ à la base à $4\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ au sommet.<br>Couleur blanc-jaune à l'œil.                  | $E_p = 300\text{ km}$    |
|                   | Chromosphère    | $T^{\circ}$ varie de $4\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ à la base à $10^6\text{ }^{\circ}\text{C}$ au sommet.<br>Couleur rose vif visible lors d'éclipse totale. | $E_p = 2\,000\text{ km}$ |
|                   | Couronne        | $T^{\circ}$ environ $3.10^6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .                                                                                                         | $> 100\,000\text{ km}$   |

L'activité solaire (perturbations magnétiques, panaches de gaz...) se traduit au niveau de l'atmosphère solaire par des **taches**, des **tornades**, des **éruptions** ou encore des **protubérances**. Cette activité semble cyclique avec une périodicité de 11 ans.

3. LES PLANÈTES

a) Généralités

Les huit planètes (Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) tournent autour du Soleil en suivant des orbites elliptiques quasi-circulaires. Ces orbites sont globalement situées sur un même plan, l'écliptique.

|                                         | Mercure | Vénus   | Terre    | Mars  | Jupiter | Saturne | Uranus  | Neptune |
|-----------------------------------------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|---------|---------|
| Distance/Soleil<br>( $10^6\text{ km}$ ) | 58      | 107,9   | 149,6    | 227,7 | 777,9   | 1 427   | 2 869   | 4 497   |
| Densité<br>(eau = 1)                    | 5,43    | 5,24    | 5,52     | 3,93  | 1,33    | 0,71    | 1,31    | 1,77    |
| Révolution<br>sidérale                  | 88 j    | 224,7 j | 365,26 j | 687 j | 11,86 a | 29,46 a | 84,01 a | 164,8 a |
| Rotation<br>(jours)                     | 58,65   | 243,6   | 0,9973   | 1,026 | 0,41    | 0,427   | 0,45    | 0,67    |
| Satellites                              | -       | -       | 1        | 2     | 39      | 28      | 17      | 8       |

La répartition des planètes dans le système solaire obéit à une loi empirique très simple : chaque planète est deux fois plus éloignée du Soleil que sa voisine intérieure. Entre Mars et Jupiter, à l'endroit prévu par cette loi, il n'y a pas de planète mais une ceinture d'astéroïdes. Elles sont toutes constituées d'enveloppes concentriques dont la densité croît vers le centre. Les quatre planètes les plus proches du Soleil sont petites, denses et possèdent une atmosphère réduite et dépourvue d'hydrogène. Ce sont les **planètes telluriques**.

Les quatre planètes suivantes sont beaucoup plus volumineuses et légères. Ce sont les **planètes géantes (ou gazeuses)**.

Au-delà de l'orbite de Neptune, il existe une seconde ceinture de gros astéroïdes (la **ceinture de Kuiper**) dont serait issue Pluton.

## b) Leur formation

Pour expliquer la formation de planètes globalement concentriques, deux hypothèses s'opposent :

- l'**accrétion homogène**, en **deux phases**, pendant laquelle un corps homogène se forme par l'accrétion de poussières puis se différencie en un noyau et un manteau, les produits volatils migrant vers la surface pour former l'atmosphère ;
- l'**accrétion hétérogène** pendant laquelle les matériaux se condensent par ordre de densité décroissante : les plus lourds comme le fer en premier pour former le noyau, puis les silicates pour le manteau et la croûte. Les matériaux gazeux sont ensuite capturés pour former l'atmosphère.

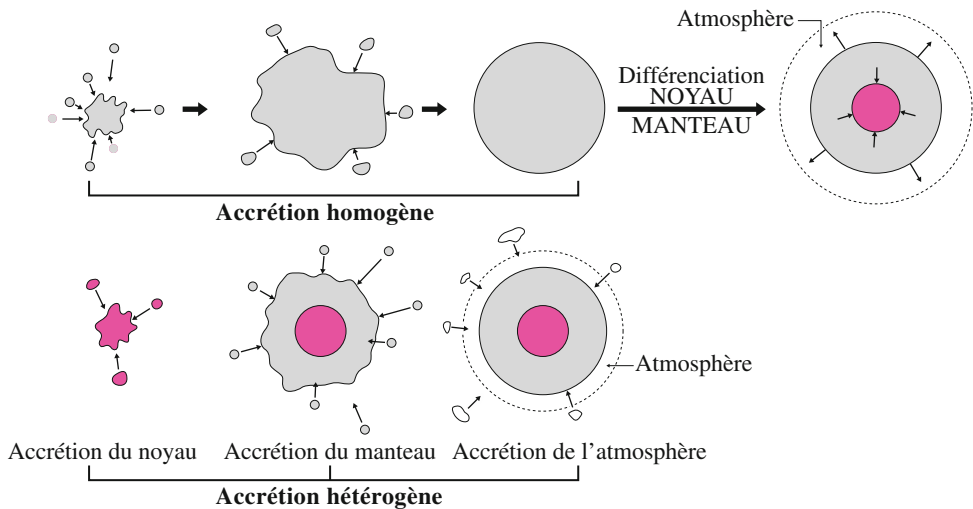


Figure 1.3 – Mécanismes de formation des planètes.

De plus, la ceinture d'astéroïdes, qui sépare les deux groupes de quatre planètes, marque la transition entre les planètes pour lesquelles dominent les phénomènes d'accrétion (planètes telluriques) et les planètes géantes formées par effondrement gravitationnel.

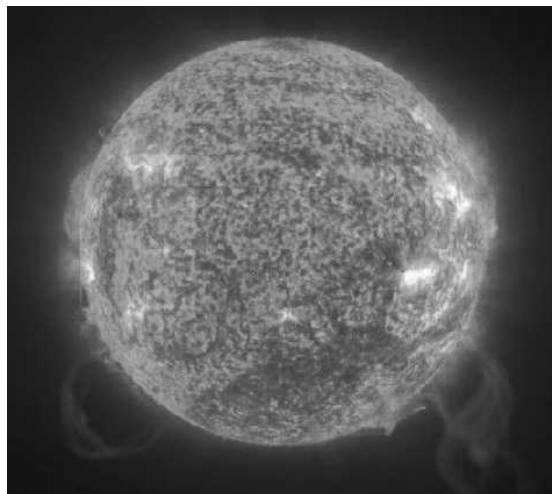


Figure 1.4 – Le Soleil vu par la sonde SOHO (NASA, ESA).

## 2 Le champ magnétique terrestre

### Mots clés

Déclinaison, Inclinaison, Magnétopause, Magnétosphère, Pôles magnétiques

La Terre, comme la plupart des planètes du système solaire (excepté Vénus), possède un champ magnétique. Celui-ci est responsable, par exemple, de l'orientation des aiguilles aimantées présentes dans nos boussoles. Il peut donc, en simplifiant, s'apparenter à celui que créerait un aimant dipolaire placé au centre de la Terre.

### 1. GÉNÉRALITÉS

Le champ magnétique terrestre s'oriente par rapport à un axe magnétique composé d'un pôle Nord magnétique et d'un pôle Sud magnétique. Ces **pôles magnétiques** ne correspondent pas exactement aux pôles Nord et Sud géographiques et sont relativement mobiles. Le pôle Nord magnétique (au niveau du bouclier canadien) se déplace actuellement de 40 km/an vers le pôle Nord distant d'environ 1 000 km. Le pôle Sud magnétique (Terre Adélie) se trouve à plus de 2 000 km du pôle Sud géographique.

L'effet du champ magnétique s'étend dans l'espace : c'est la **magnétosphère**, qui débute après l'ionosphère (altitude de 1 000 km) et se termine par la **magnétopause**. Elle est fortement dissymétrique avec, du côté soleil, une limite externe bien définie du fait des vents solaires (à environ 10 rayons terrestres) et à l'opposé, une « queue » par laquelle s'échappent les lignes de force du champ sur des milliers de rayons terrestres.

### 2. L'ORIGINE DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

**99,5 %** du champ magnétique est d'origine interne à la Terre, plus particulièrement au niveau du **noyau**. Ce dernier (composé de fer et de nickel) fonctionne comme une dynamo dont les compartiments seraient les parties externe (liquide) et interne (solide) (**Fiche 15**). De plus, l'orientation de l'axe magnétique est globalement alignée sur celui de rotation, comme cela est le cas sur toutes les planètes dotées d'un champ magnétique. Il est maintenant admis que le lien entre la rotation de la Terre et son champ magnétique est la force de Coriolis (**Fiche 7**).

### 3. LES PARAMÈTRES DU CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE

On définit le champ magnétique terrestre en tout point du globe par trois paramètres :

- son **intensité**  $F$  (en nanoTesla) qui varie en fonction de la latitude (60 000 nT au pôle Nord et 30 000 nT à l'équateur) ;
- son **inclinaison**  $I$  (en degré) qui est l'angle entre la composante horizontale du champ et la direction du champ.  $I$  est positif si la ligne de force rentre dans la Terre (hémisphère Nord) ;
- sa **déclinaison**  $D$  (en degré) qui est l'angle entre la composante horizontale du champ et le Nord géographique. Elle varie de 0 à 360° : 0 à 180° signifie que  $D$  se trouve à l'ouest du Nord géographique, 180 à 360° à l'Est.

L'inclinaison  $I$  du champ en un point est directement liée à la latitude  $L$  par la formule :

$$\text{Tg}(I) = 2\text{Tg}(L)$$

Cette relation permet donc d'obtenir la paléolatitude d'un lieu à n'importe quelle époque à partir du moment où  $I$  peut être mesurée.

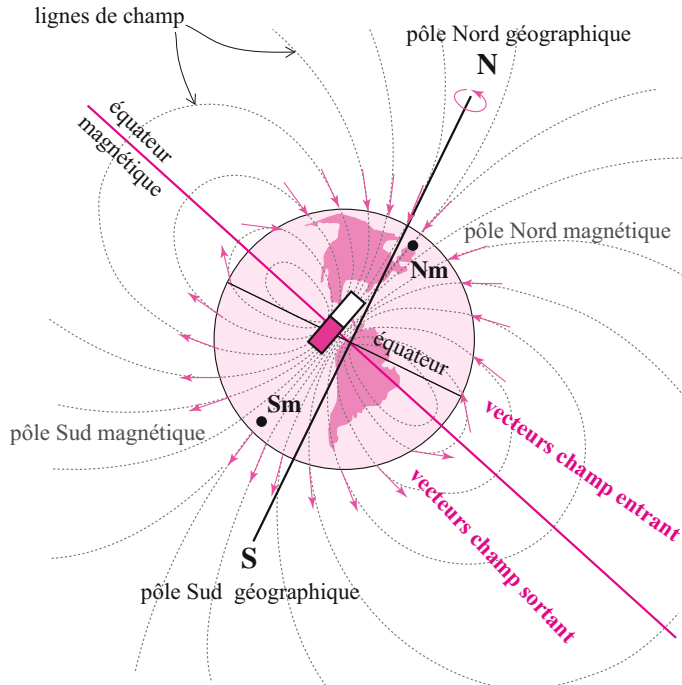


Figure 2.1 – Représentation schématique du champ magnétique terrestre actuel.

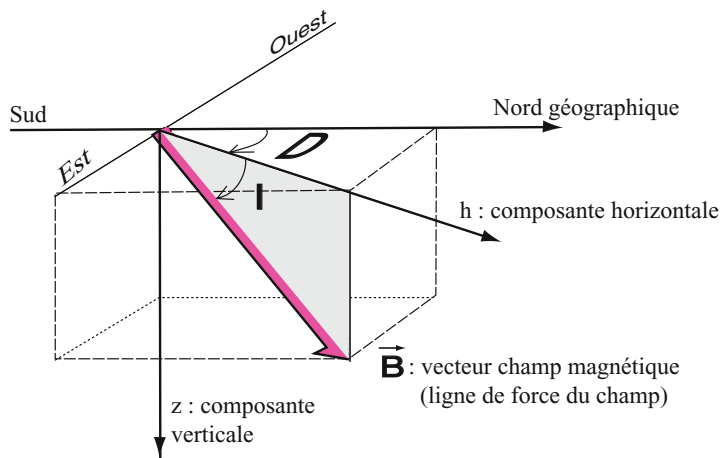


Figure 2.2 – Les paramètres du champ magnétique.

#### 4. CONCLUSION

La magnétosphère, comme la couche d'ozone, constitue une barrière protectrice contre les rayonnements solaires ionisants. L'orientation du champ magnétique terrestre n'est pas une constante dans le temps : le champ magnétique s'inverse ou se « retourne » régulièrement. Ces inversions sont datées et permettent d'établir une échelle de référence (Fiche 73) dite magnéto-stratigraphique bien documentée entre 0 et 150 Ma.