

# 10A001 - ASTRONOMIE GÉNÉRALE

La Terre, une planète vivante dans le cosmos

9. Les cycles orbitaux de la Terre

11 novembre 2025

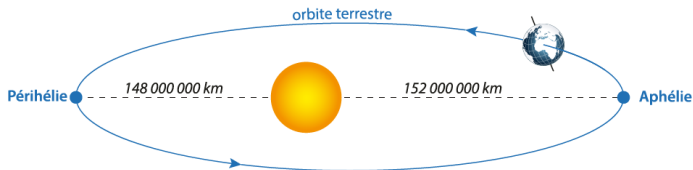
<https://mediaserver.unige.ch/play/286307>



Sylvia Ekström  
Département d'Astronomie  
Université de Genève



# Excentricité



Excentricité : 0,017

( $r_p = 0,97 r_a$ )

## Périhélie :

147'098'074 km = 0,983 UA  
= 23'087  $R_{\oplus}$  = 210  $R_{\odot}$   
vitesse max : 109'033 km/h

## Aphélie :

152'097'701 km = 1,017 UA  
= 23'872  $R_{\oplus}$  = 218  $R_{\odot}$   
vitesse min : 105'448 km/h

Année	Périhélie		Aphélie	
	Date	Heure (UTC)	Date	Heure (UTC)
2025	4 janvier	13:28	3 juillet	19:55
2026	3 janvier	17:16	6 juillet	17:31
2027	3 janvier	02:33	5 juillet	05:06
2028	5 janvier	12:28	3 juillet	22:18
2029	2 janvier	18:13	6 juillet	05:12

Concordance avec les solstices il y a 800 ans

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

### Paramètres orbitaux

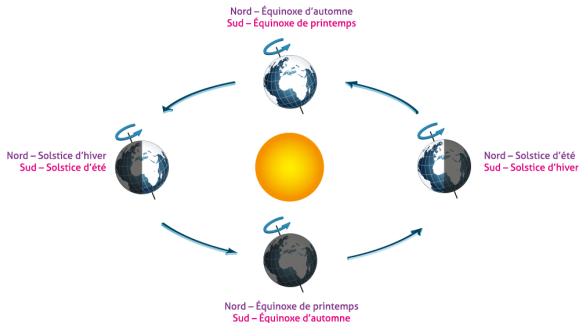
Cycles

Climat

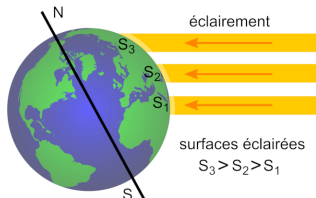
Et aujourd'hui

Références

# Inclinaison



Inclinaison : 23,44°



Année	Équinoxe de mars		Solstice de juin		Équinoxe de sept.		Solstice de déc.	
	jour	heure	jour	heure	jour	heure	jour	heure
2025	20	09:01:25	21	02:42:11	22	18:19:16	21	15:03:01
2026	20	14:45:57	21	08:24:30	23	00:05:13	21	20:50:14
2027	20	20:24:41	21	14:10:50	23	06:01:43	22	02:42:10
2028	20	02:17:08	20	20:02:00	22	11:45:18	21	08:19:40
2029	20	08:01:59	21	01:48:18	22	17:38:30	21	14:14:06
2030	20	13:52:06	21	07:31:19	22	23:26:53	21	20:09:38

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

### Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références



## Excentricité + inclinaison

À l'origine de l'équation du temps

Dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, Genève adopte le temps moyen

Correction du temps solaire vrai grâce à l'équation du temps



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



### 9. Les cycles orbitaux de la Terre

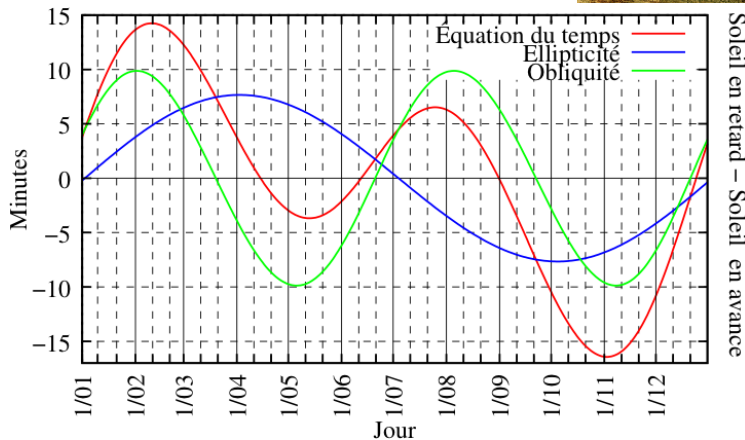
#### Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références



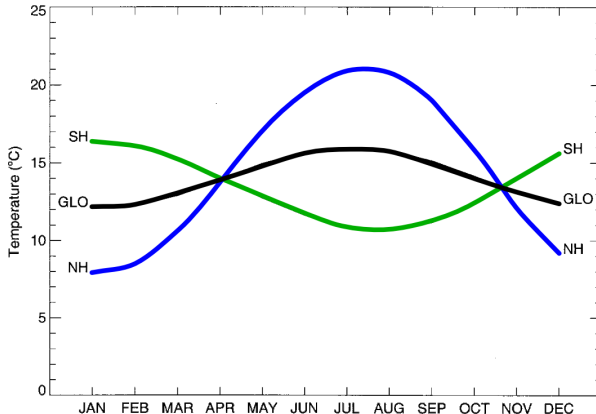
## Excentricité + inclinaison

Durée inégale des saisons :  
(2e loi de Kepler)

Printemps : 92,7 jours  
Eté : 93,7 jours  
Automne : 89,9 jours  
Hiver : 89,0 jours

Ecart de températures : ô surprise! *Jones+ 1999*

Les saisons ne sont pas plus marquées dans l'hémisphère Sud



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



9. Les cycles orbitaux  
de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

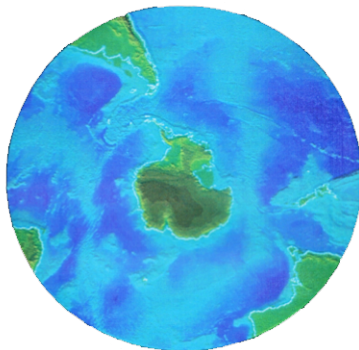
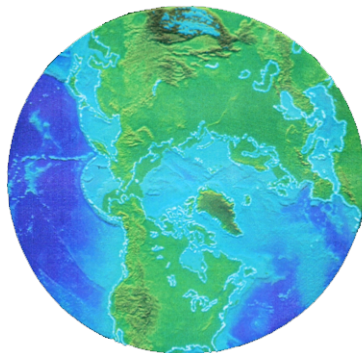
Et aujourd'hui

Références

# Réservoir thermique

Répartition des continents très différente dans les deux hémisphères :

80,9% d'océans contre 60,7% dans l'hémisphère Nord



Rôle de réservoir thermique *Horner+ 2020*

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

### Paramètres orbitaux

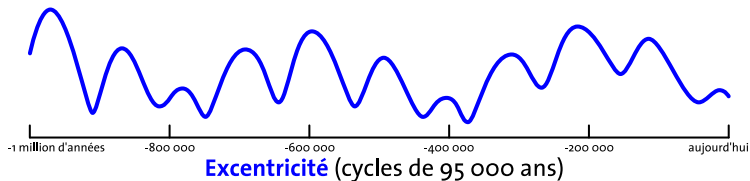
Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

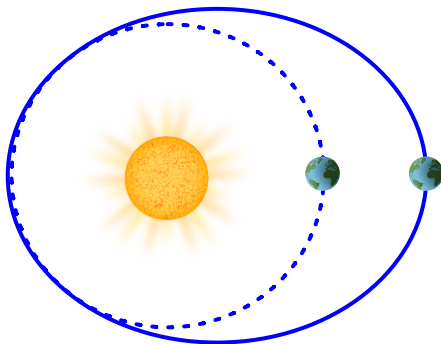
# Cycles orbitaux : l'excentricité



Double cyclicité : 415 000  
et 95 000 ans

L'excentricité varie entre  
0,0034 et 0,058

Actuellement 0,017  
décroissante



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

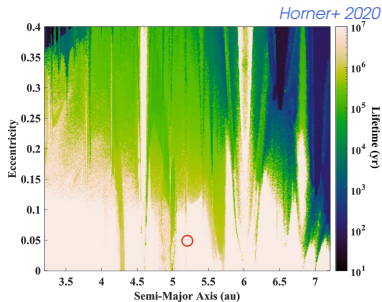
# Influences sur l'excentricité

Changement d'excentricité à cause du pompage gravitationnel des autres planètes

Connu depuis le XVIIIe siècle

*Lagrange*

Affiné au XIXe siècle *Le Verrier*



Rôle majeur de Jupiter (et Saturne)

Selon sa position et son excentricité, pourrait totalement changer la stabilité du Système solaire dans son entier

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

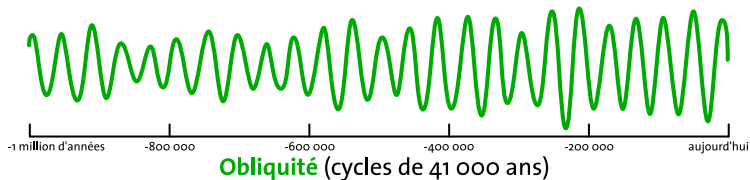
Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

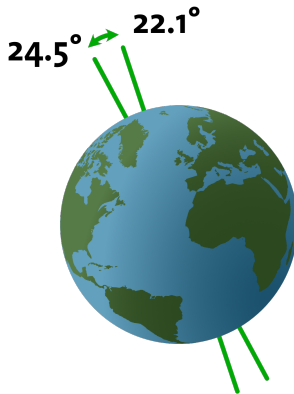
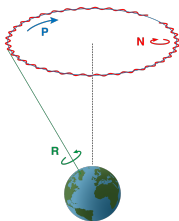
## Cycles orbitaux : l'inclinaison



L'inclinaison varie entre  $22,1^\circ$  et  $24,5^\circ$

Actuellement  $23,44^\circ$  décroissant (min dans 10 000 ans)

Modulation supplémentaire par la **nutaton** sur un cycle de 18,6 ans (actuellement  $8,6''$ )



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



### 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

## Stabilité de l'inclinaison

Après l'impact avec Theia : rapide rotation de la Terre et grande obliquité

Redressement par transition orbitale de la Lune [Čuk+ 2016](#)

Rôle de la Lune : torque stabilisant ([Laskar+ 1993](#); [Čuk+ 2016](#))

Qu'en est-il de Mercure, Vénus ou Mars ?

[Mercure](#) subit de fortes marées du Soleil

[Vénus](#) est rétrograde

→ effets stabilisateurs [Laskar & Robutel 1993](#)

[Mars](#) a une inclinaison qui oscille entre  $14,9^\circ$  et  $35,5^\circ$  sur une double cyclicité de 160 000 et 1,2 Ma [Ward 1973](#)

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



### 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

# Sans la Lune ?

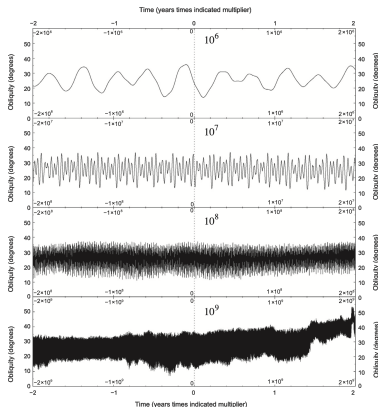
rotation rapide de la Terre

→ bourrelet équatorial stabilisant [Ward 1982](#)

MAIS implique une rotation initiale <8h [Laskar+ 1993](#)

Des simulations plus récentes remettent en cause le rôle crucial d'une inclinaison limitée :

- Variations surestimées par Laskar ([Lissauer+ 2012](#))
- Variations fortes mais lentes ([Li & Batygin 2014](#))
- Impacts climatiques pas si importants ([Vervoort+ 2022](#))



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

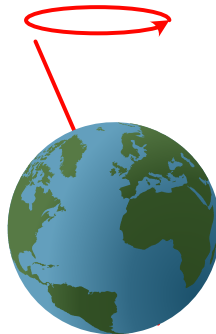
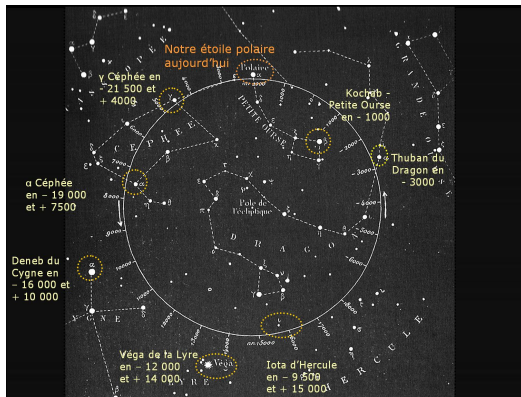
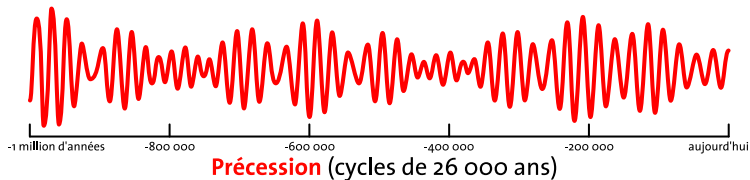
Climat

Et aujourd'hui

Références



# Cycles orbitaux : précession de l'inclinaison



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

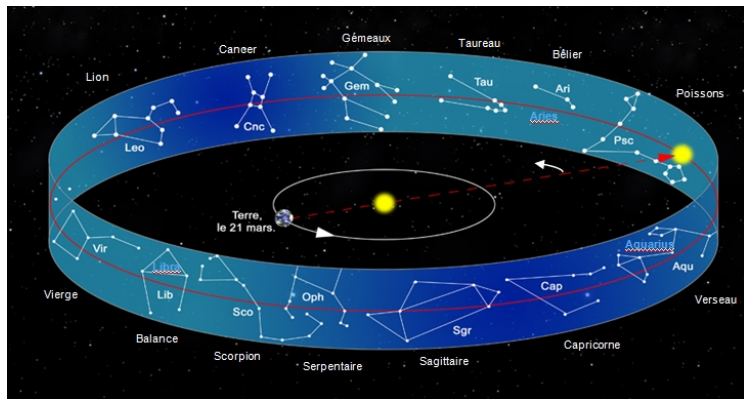
Et aujourd'hui

Références

# Précession des équinoxes

Observée par Hipparque (135 BCE) en comparant les positions des étoiles avec celles décrite 150 ans plus tôt.

Décalage  $50''/\text{an}$ , le point vernal est atteint plus tôt chaque année



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

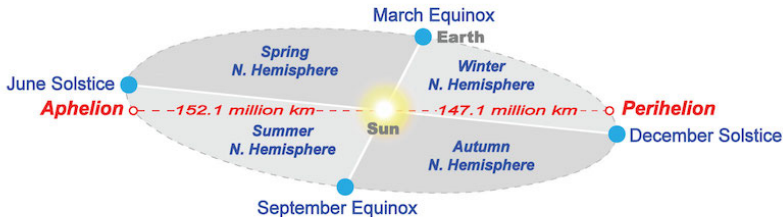
Et aujourd'hui

Références

## Excentricité et inclinaison

En soi la précession n'est pas importante

MAIS : définit la configuration au périhélie et aphélie



EarthSky.org

Traces géologiques grâce au lien direct entre niveaux marins max et solstice d'été au périhélie [Emiliani 1969](#)

Augmentation du contraste entre les saisons  
(si les autres conditions s'alignent : répartition des continents, inclinaison)

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

# Cycles de Milanković

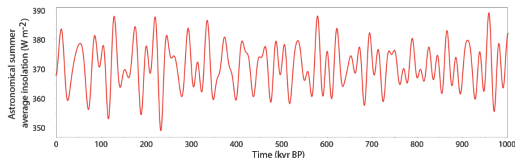
Milutin Milanković (1879-1958)

Ressuscitez le lien entre astronomie et climatologie  
(déjà proposé au XVIIIe par Jens Esmark)

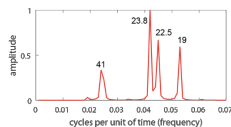


MM propose que les conditions à la latitude de  $65^{\circ}\text{N}$  sont déterminantes pour initier ou sortir d'une glaciation

Les mesures de l'insolation font ressortir les fréquences liées aux cycles astronomiques



*Berger & Loutre 1991*



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



9. Les cycles orbitaux  
de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

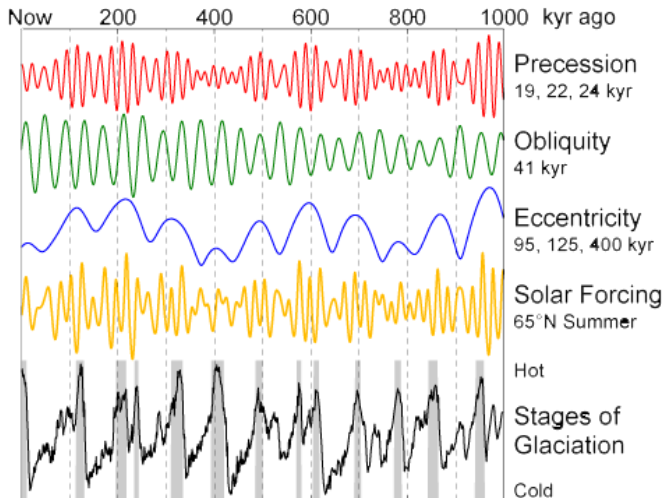
# Reconstruire le climat passé

Paléo-thermomètre : l'isotope lourd de l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ )

*Urey+ 1951; Epstein+ 1951; Emiliani & Edwards 1953*

Permet une reconstruction des ères glaciaires passées

*Emiliani 1969; Liu 1992; Zachos+ 2001; Augustin+ 2004; Huybers 2006; Drysdale+ 2009*



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

# Cycles de Milanković

Être ou ne pas être glacé ? C'est compliqué !

La combinaison de l'excentricité et de rapides changements d'obliquité domine les glaciations (début et fin)

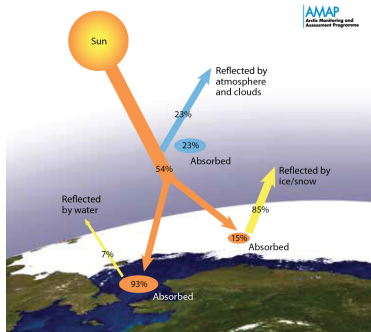
*Liu 1992; Drysdale+ 2009*

Nécessité de prendre en compte des feedbacks (renforcement ou atténuation) :

- évolution de la couche de **glace** (albédo, effets microclimatiques)
- évolution de l'abondance de **CO<sub>2</sub>** atmosphérique (éruptions volcaniques)

*Tziperman & Gildor 2003*

*Saltzman 1982*



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

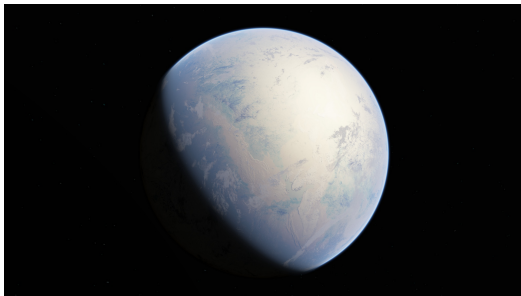
Climat

Et aujourd'hui

Références

# Boule de neige

La Terre a-t-elle vécu des phase de glaciation totale ?

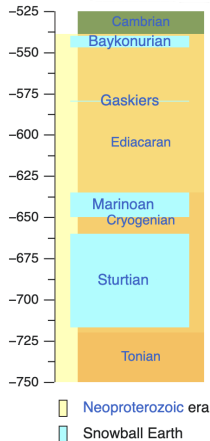


Encore très débattu...

- indication de permanence de zones sans glace *Allen & Etienne 2008*
- alternances glaciaires/interglaciaires incompatibles avec Snowball *Kilner+ 2005*
- pas de trace de changement majeur dans les formes de vie avant/après

*Corsetti+ 2003*

## Proterozoic snowball periods



Estimate of **Proterozoic** glacial periods.

Vertical axis: millions of years ago

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

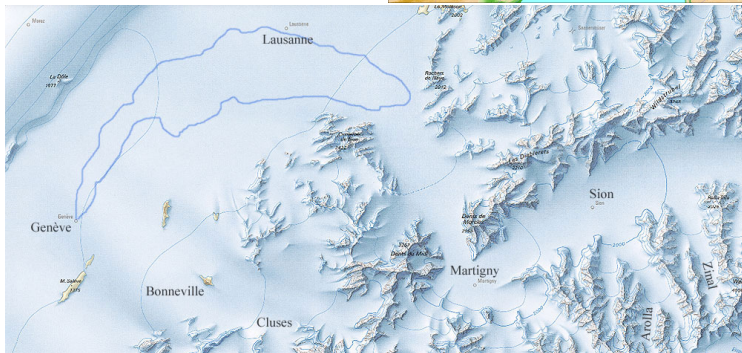
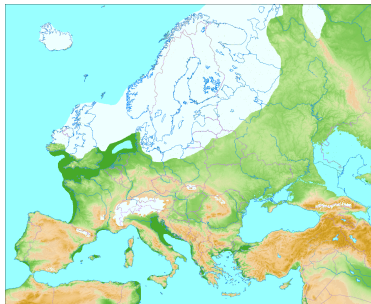
Références

# Situation actuelle

Dernière glaciation :  
Würmien dans les Alpes  
Vistulien dans le grand nord

Entre 115 000 et 11 700 BCE

Séparation de populations  
humaines lors du maximum de  
22 000 BCE *Marchi+ 2022*



La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références



# Rebond post-glaciaire

La fonte des glaces entraîne un rebond

L'Europe remonte de 1cm/an, recul des mers *Johansson+ 2002*

→ séismes, dégazage par les failles *Wiprut & Zoback 2000; Zoback & Grollmund 2001*



QUELLEN: SVENSKA TURISTFÖRENINGEN UND  
KARTOGRAFISKA INSTITUTET

1: STRANDLINIE IM JAHR 2000 (HEUTE)  
2: STRANDLINIE IM JAHR NULL (-10 M)  
3: STRANDLINIE IM JAHR 2000 V.CHR. (-25 M)

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



## 9. Les cycles orbitaux de la Terre

Paramètres orbitaux

Cycles

Climat

Et aujourd'hui

Références

# Références I

- Allen & Etienne 2008, *Nature Geoscience*, 1, 817 (ADS)
- Augustin, Barbante, Barnes et al. 2004, *Nature*, 429, 623 (ADS)
- Berger & Loutre 1991, *Quaternary Science Reviews*, 10, 297 (ADS)
- Corsetti, Awramik, & Pierce 2003, *Proceedings of the National Academy of Science*, 100, 4399 (ADS)
- Ćuk, Hamilton, Lock, & Stewart 2016, *Nature*, 539, 402 (ADS)
- Drysdale, Hellstrom, Zanchetta et al. 2009, *Science*, 325, 1527 (ADS)
- Emiliani 1969, *Science*, 166, 1503 (ADS)
- Emiliani & Edwards 1953, *Nature*, 171, 887 (ADS)
- Epstein, Buchsbaum, Lowenstam, & Urey 1951, *Geological Society of America Bulletin*, 62, 417 (ADS)
- Horner, Vervoort, Kane et al. 2020, *AJ*, 159, 10 (ADS)
- Huybers 2006, *Science*, 313, 508 (ADS)
- Johansson, Davis, Scherneck et al. 2002, *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, 107, 2157 (ADS)
- Jones, New, Parker, Martin, & Rigor 1999, *Reviews of Geophysics*, 37, 173 (ADS)
- Kilner, Niocaill, & Brasier 2005, *Geology*, 33, 413 (ADS)
- Laskar, Joutel, & Robutel 1993, *Nature*, 361, 615 (ADS)
- Laskar & Robutel 1993, *Nature*, 361, 608 (ADS)
- Li & Batygin 2014, *ApJ*, 790, 69 (ADS)
- Lissauer, Barnes, & Chambers 2012, *Icarus*, 217, 77 (ADS)
- Liu 1992, *Nature*, 358, 397 (ADS)
- Marchi, Winkelbach, Schulz et al. 2022, *Cell*, 185, 1842
- Saltzman 1982, *Tellus*, 34, 97 (ADS)
- Tziperman & Gildor 2003, *Paleoceanography*, 18, 1001 (ADS)

## Références II

*Urey, Lowenstam, Epstein, & McKinney 1951, Geological Society of America Bulletin, 62, 399 (ADS)*

*Vervoort, Horner, Kane, Kirtland Turner, & Gilmore 2022, AJ, 164, 130 (ADS)*

*Ward 1973, Science, 181, 260 (ADS)*

*Ward 1982, Icarus, 50, 444 (ADS)*

*Wiprut & Zoback 2000, Geology, 28, 595 (ADS)*

*Zachos, Pagani, Sloan, Thomas, & Billups 2001, Science, 292, 686 (ADS)*

*Zoback & Grollmund 2001, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, 333, 23 (ADS)*