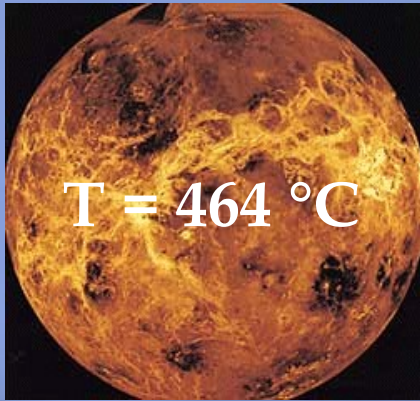


MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE À LA SURFACE D'UNE PLANÈTE

Démarche construite à partir de la conférence de
Jacques Laskar
(Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides)
Formaterre 2007

Florence Trouillet
Jean-Marc Vallée

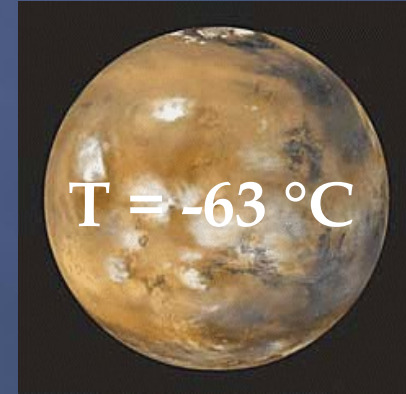
Recherche d'un modèle simple de calcul de la température d'une planète



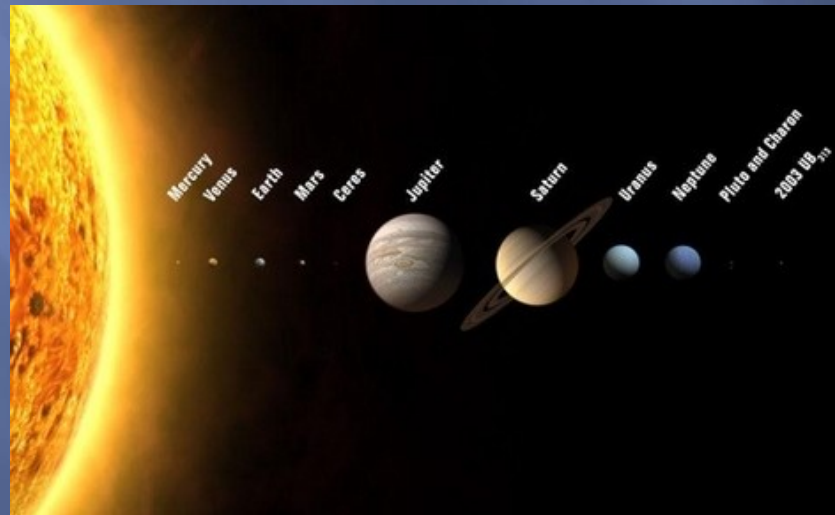
Vénus



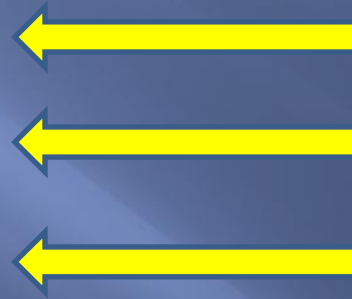
Terre



Mars



La constante solaire



On appelle constante solaire F , la quantité d'énergie reçue chaque seconde par un disque de 1 m^2 placé, hors atmosphère, à 1 U.A du Soleil.

$$F = 1368 \text{ W.m}^{-2}$$

Puissance rayonnée reçue par une planète

- ▣ Soit P , la quantité d'énergie solaire reçue par cette planète chaque seconde.

$$P_i = \frac{\pi R^2 \times F}{a^2}$$

avec R : rayon de la planète en m et a : sa distance au Soleil en U.A

l'Albédo / Puissance incidente



$$P_i = \frac{\pi R^2 \times F}{a^2} \times (1 - A)$$

Puissance Réémise

La puissance rayonnée P_r réémise par la surface de la planète est :



$$P_r = 4\pi R^2 \times \sigma \times T_p^4$$

- ▣ σ : constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)
- ▣ R : rayon de la planète (en m)
- ▣ T_p : température moyenne de surface de la planète (en K)

Equilibre radiatif / température de la planète

$$P_r = P_i$$

$$T_P^4 = \frac{F}{4 \times 5,67 \cdot 10^{-8}} \times \frac{1 - A}{a^2}$$

$$T_P = 278,68 \times \frac{(1 - A)^{1/4}}{\sqrt{a}}$$

Et dans la réalité ?

On prépare la feuille de calcul suivante et on y insère la formule précédente :

D5 =278,68*PUISSANCE((1-C5);0,25)/RACINE(B5)								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Température de surface des planètes du système solaire							
2								
3								
4	Planète	Distance moyenne au Soleil (U.A)	Albédo A (sans unité)	Température de surface moyenne calculée (K)	Température de surface moyenne calculée (°C)	Température de surface moyenne mesurée (K)	Température de surface moyenne mesurée (°C)	Ecart entre les températures mesurées et calculées
5	Mercure	0,38	0,06	445,14		440		
6	Vénus	0,72	0,7			737		
7	Terre	1	0,3			288		
8	Mars	1,52	0,15			210		
9	Jupiter	5,2	0,5			165		
10	Saturne	9,54	0,47			134		
11	Uranus	19	0,51			76		
12	Neptune	30	0,41			53		

Et dans la réalité ?

On recopie cette formule et on y insère une nouvelle formule :

E5								
f(x) Σ = =D5-273								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Température de surface des planètes du système solaire							
2								
3								
4	Planète	Distance moyenne au Soleil (U.A)	Albédo A (sans unité)	Température de surface moyenne calculée (K)	Température de surface moyenne calculée (°C)	Température de surface moyenne mesurée (K)	Température de surface moyenne mesurée (°C)	Ecart entre les températures mesurées et calculées
5	Mercure	0,38	0,06	445	172	440		
6	Vénus	0,72	0,7	243		737		
7	Terre	1	0,3	255		288		
8	Mars	1,52	0,15	217		210		
9	Jupiter	5,2	0,5	103		165		
10	Saturne	9,54	0,47	77		134		
11	Uranus	19	0,51	53		76		
12	Neptune	30	0,41	45		53		

Et dans la réalité ?

G5								
f(x) Σ = =F5-273								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Température de surface des planètes du système solaire							
2								
3								
4	Planète	Distance moyenne au Soleil (U.A)	Albédo A (sans unité)	Température de surface moyenne calculée (K)	Température de surface moyenne calculée (°C)	Température de surface moyenne mesurée (K)	Température de surface moyenne mesurée (°C)	Ecart entre les températures mesurées et calculées
5	Mercure	0,38	0,06	445	172	440	167	
6	Vénus	0,72	0,7	243	-30	737		
7	Terre	1	0,3	255	-18	288		
8	Mars	1,52	0,15	217	-56	210		
9	Jupiter	5,2	0,5	103	-170	165		
10	Saturne	9,54	0,47	77	-196	134		
11	Uranus	19	0,51	53	-220	76		
12	Neptune	30	0,41	45	-228	53		

Et dans la réalité ?

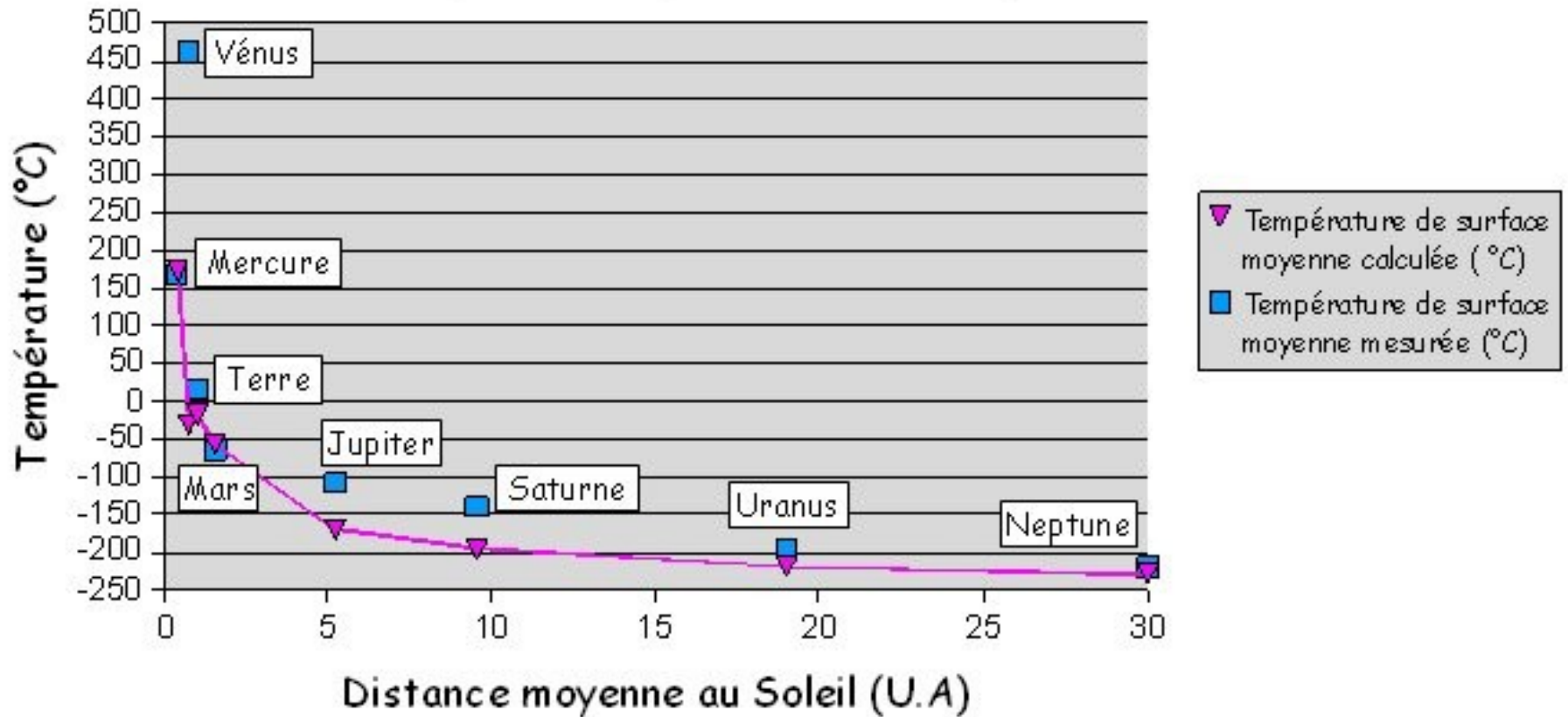
H5 f(x) Σ = =ABS(E5-G5)								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Température de surface des planètes du système solaire							
2								
3								
4	Planète	Distance moyenne au Soleil (U.A)	Albédo A (sans unité)	Température de surface moyenne calculée (K)	Température de surface moyenne calculée (°C)	Température de surface moyenne mesurée (K)	Température de surface moyenne mesurée (°C)	Ecart entre les températures mesurées et calculées
5	Mercure	0,38	0,06	445	172	440	167	5
6	Vénus	0,72	0,7	243	-30	737	464	
7	Terre	1	0,3	255	-18	288	15	
8	Mars	1,52	0,15	217	-56	210	-63	
9	Jupiter	5,2	0,5	103	-170	165	-108	
10	Saturne	9,54	0,47	77	-196	134	-139	
11	Uranus	19	0,51	53	-220	76	-197	
12	Neptune	30	0,41	45	-228	53	-220	

Et dans la réalité ?

4	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Température de surface des planètes du système solaire							
2								
3								
4	Planète	Distance moyenne au Soleil (U.A)	Albédo A (sans unité)	Température de surface moyenne calculée (K)	Température de surface moyenne calculée (°C)	Température de surface moyenne mesurée (K)	Température de surface moyenne mesurée (°C)	Ecart entre les températures mesurées et calculées
5	Mercure	0,38	0,06	445	172	440	167	5
6	Vénus	0,72	0,7	243	-30	737	464	494
7	Terre	1	0,3	255	-18	288	15	33
8	Mars	1,52	0,15	217	-56	210	-63	7
9	Jupiter	5,2	0,5	103	-170	165	-108	62
10	Saturne	9,54	0,47	77	-196	134	-139	57
11	Uranus	19	0,51	53	-220	76	-197	23
12	Neptune	30	0,41	45	-228	53	-220	8

Et dans la réalité ?

Températures de surface mesurées et calculées pour les planètes du système solaire



Perfectionnons le modèle précédent : l'effet de serre

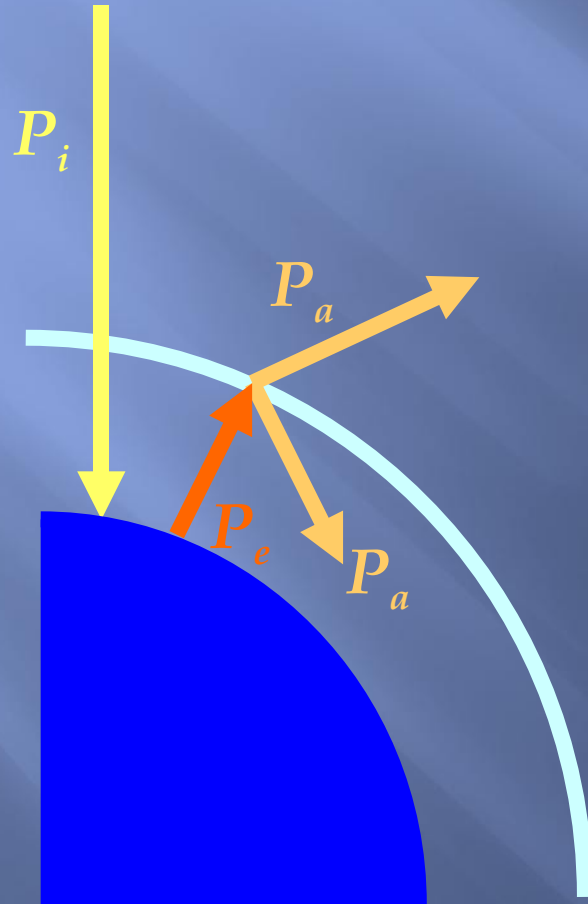
La terre possède une atmosphère.



Quelle est son influence ?

Le flux incident reçu par la surface terrestre est :

$$P_i = \frac{\pi R^2 \times F}{a^2} \times (1 - A)$$

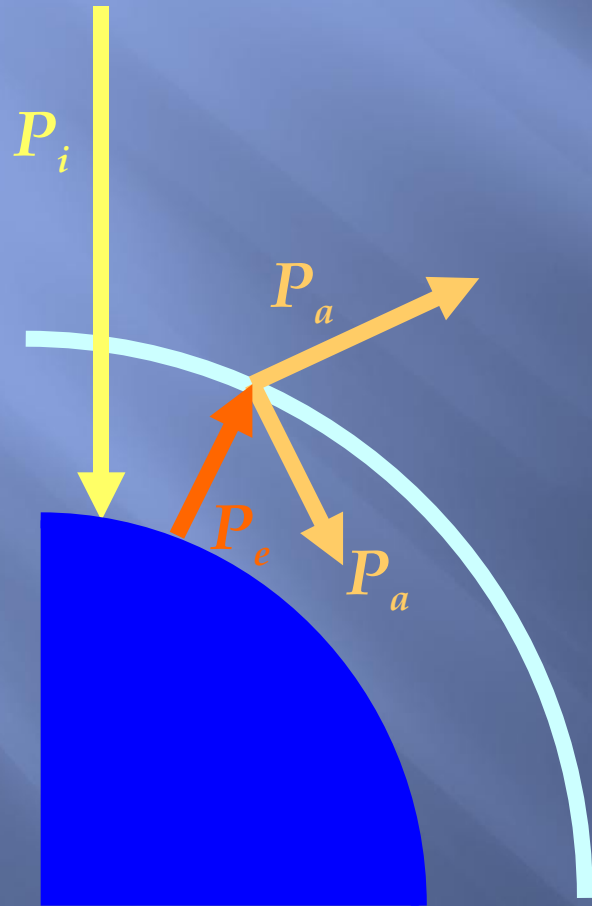


Le flux réémis par la Terre sous forme de rayonnement infrarouge est :

$$P_e = 4\pi R^2 \times \sigma \times T^4$$

L'atmosphère se réchauffe et réémet ce rayonnement dans toutes les directions (autant vers l'espace que vers le sol).

La conservation de l'énergie impose : $P_e = 2 \times P_a$ $P_i = P_a$



Donc, à l'équilibre radiatif :

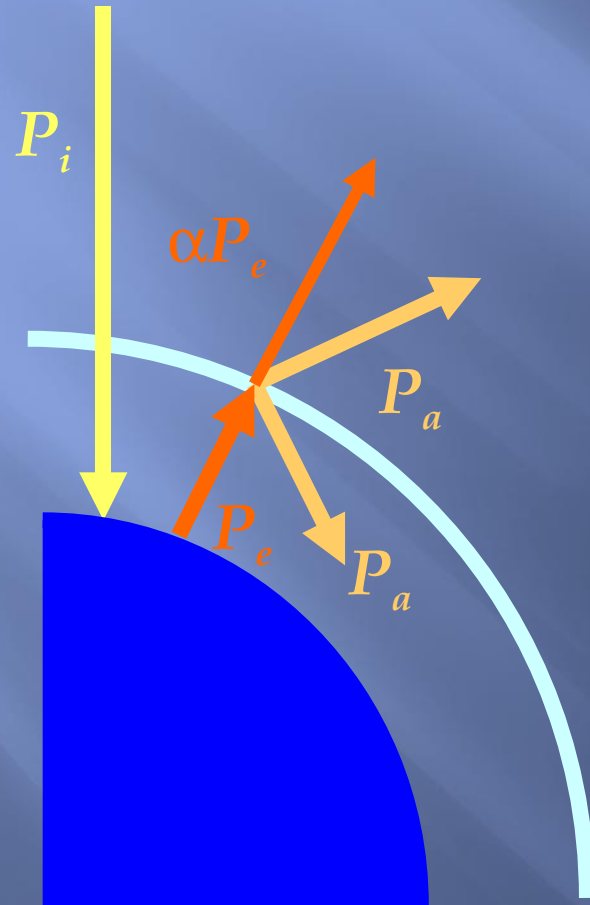
$$P_e = 2 \times P_i$$

La nouvelle température d'équilibre est :

$$T^4 = 2 \times T_e^4 \text{ avec } T_e = 255K$$

soit $T = 2^{1/4} \times T_e = 303K = 30^\circ C$

Correction du modèle précédent

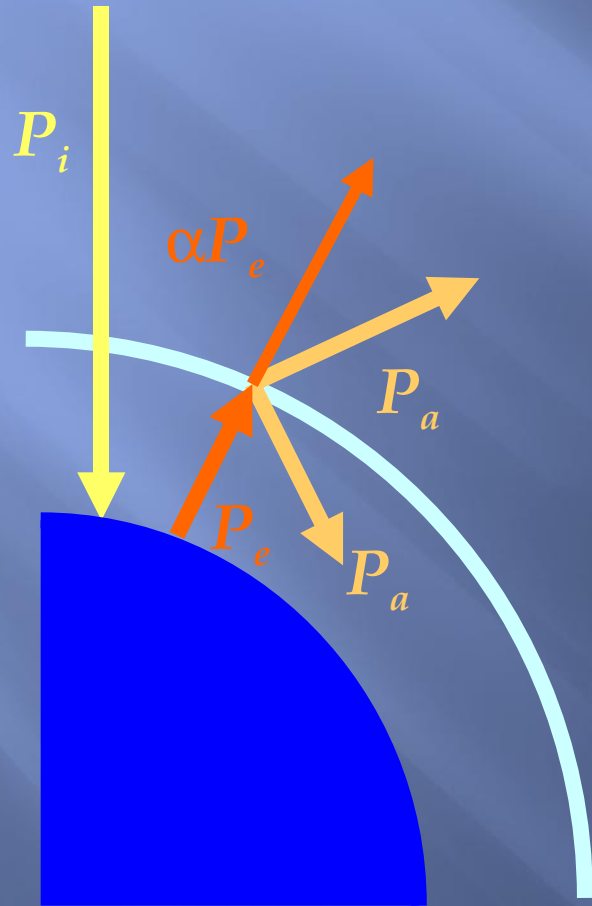


L'atmosphère n'absorbe pas tout le rayonnement infrarouge émis par la Terre. Une partie de ce rayonnement traverse l'atmosphère et repart vers l'espace.

La conservation de l'énergie impose :

$$P_e = 2 \times P_a + \alpha P_e$$

$$P_i = P_a + \alpha P_e$$



Donc, à l'équilibre radiatif :

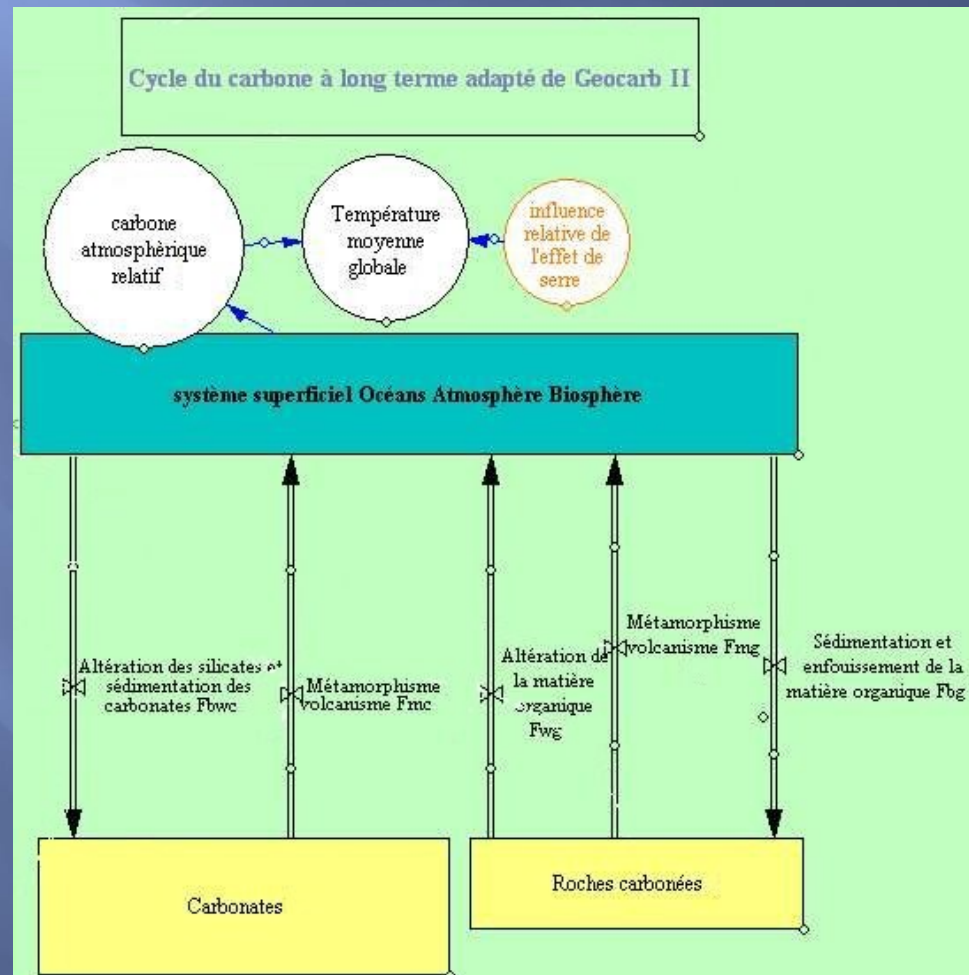
$$P_e = \frac{2}{1 + \alpha} \times P_i$$

La nouvelle température d'équilibre est :

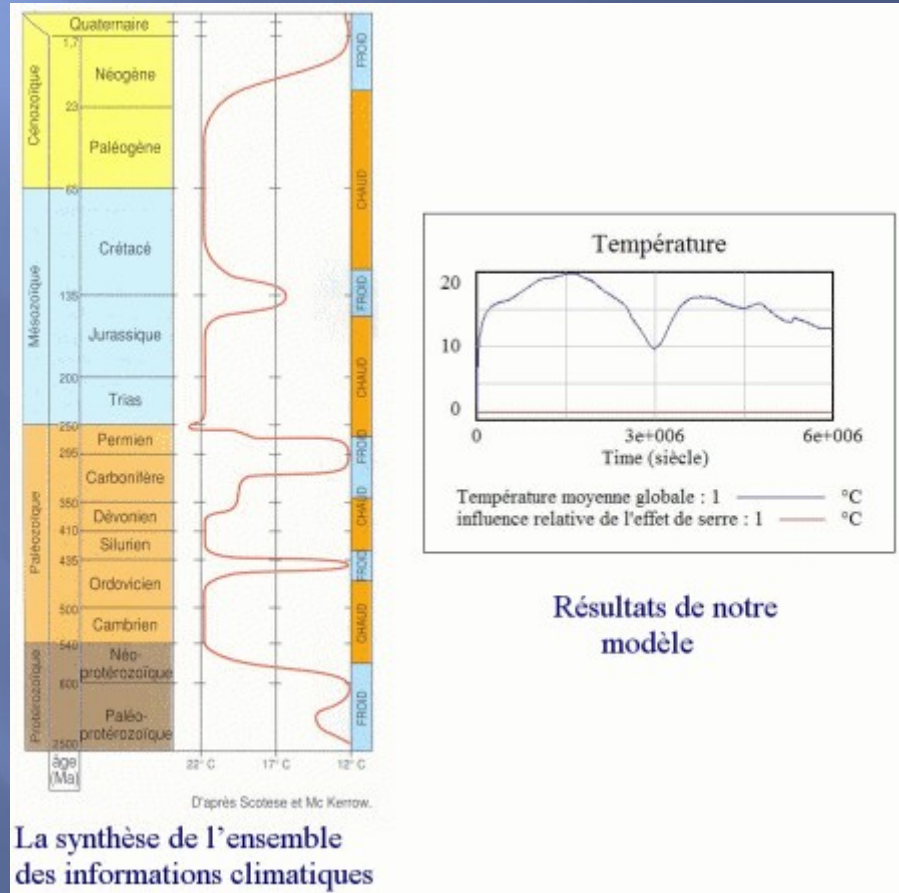
$$T = \left(\frac{2}{1 + \alpha} \right)^{1/4} \times T_e$$

$$T_{mesurée} = 288K \Leftrightarrow \alpha = 0,22$$

Utilisation d'un modèle simplifié du cycle du carbone à long terme.

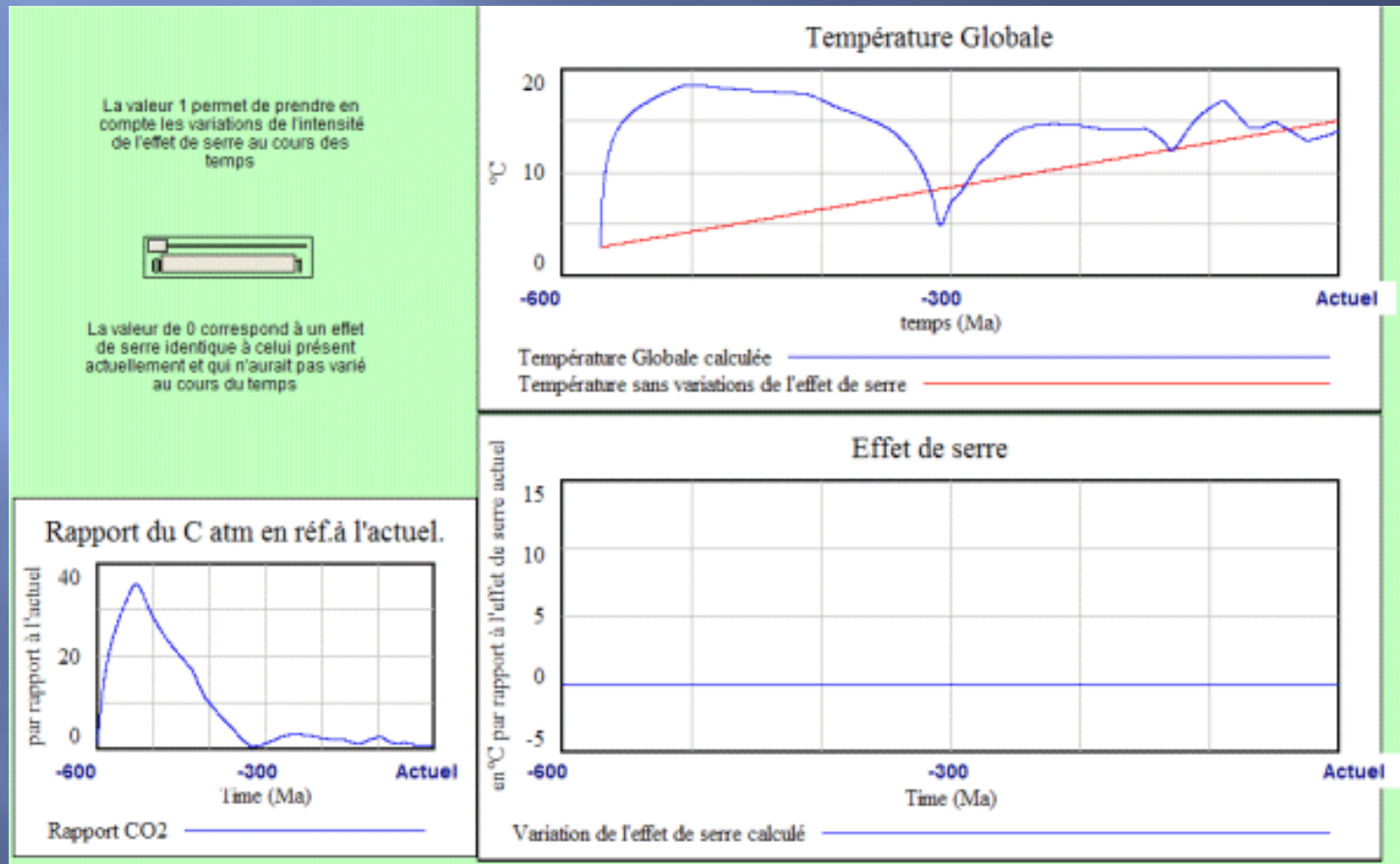


Validation du modèle utilisé :

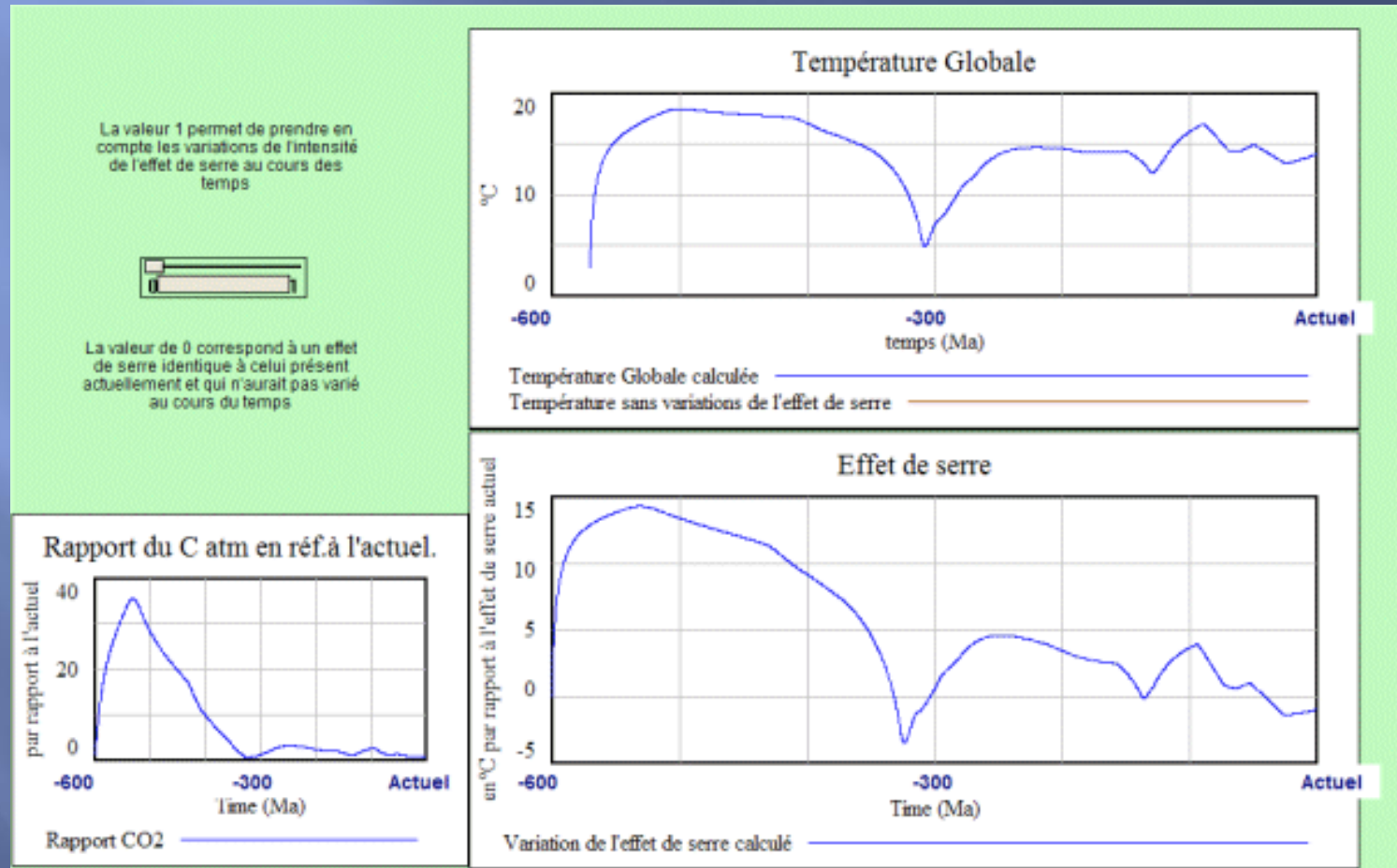


Importance de l'insolation et variation de l'effet de serre

Lorsque le curseur est à zéro



Le curseur est à 1,



Quelle est alors la part de l'augmentation de l'effet de serre ?

Choisir deux valeurs du rapport :

- ▣ Une faible, au crétacé par exemple (-100 MA), on note alors que l'effet de serre seul permet d'obtenir une température de 4°C.
- ▣ Une forte, au cambrien (-500 MA), on note alors que l'effet de serre seul permet d'obtenir une température de 15 °C.