

# CORRIGÉ

## Exercice 22 : Réchauffement climatique

TABLE 1 – MOYENNE ANNUELLE DES DIFFÉRENCES DE TEMPÉRATURE SUR L'ENSEMBLE DU GLOBE PAR RAPPORT À LA MOYENNE DURANT LA PÉRIODE 1951-1980.

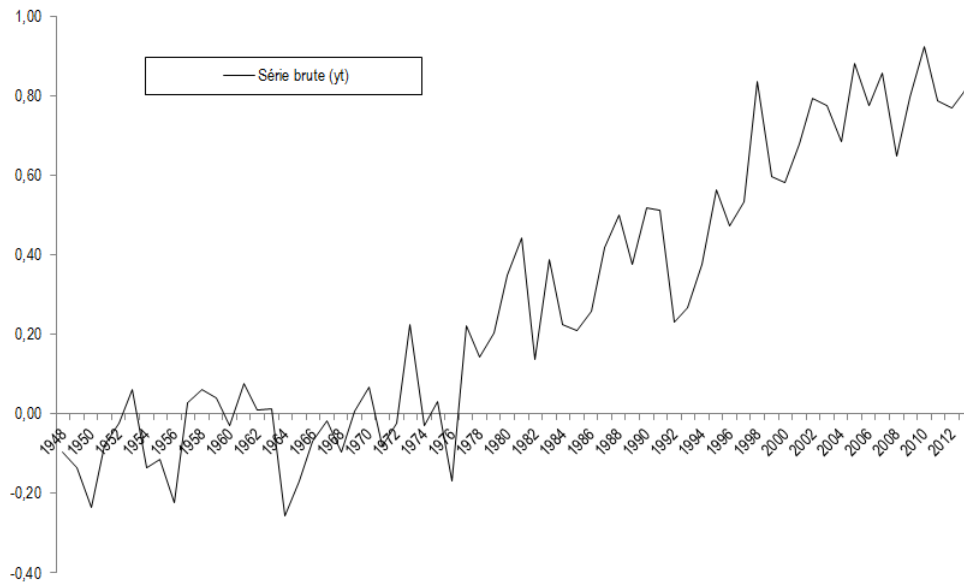
<i>Année</i>	<i>Var. Temp</i>	<i>Année</i>	<i>Var. Temp</i>	<i>Année</i>	<i>Var. Temp</i>
1948	-0,10	1972	-0,03	1996	0,47
1949	-0,14	1973	0,23	1997	0,53
1950	-0,24	1974	-0,03	1998	0,84
1951	-0,08	1975	0,03	1999	0,60
1952	-0,03	1976	-0,17	2000	0,58
1953	0,06	1977	0,22	2001	0,68
1954	-0,14	1978	0,14	2002	0,79
1955	-0,11	1979	0,20	2003	0,78
1956	-0,22	1980	0,35	2004	0,68
1957	0,03	1981	0,44	2005	0,88
1958	0,06	1982	0,14	2006	0,78
1959	0,04	1983	0,39	2007	0,86
1960	-0,03	1984	0,22	2008	0,65
1961	0,08	1985	0,21	2009	0,80
1962	0,01	1986	0,26	2010	0,92
1963	0,01	1987	0,42	2011	0,79
1964	-0,26	1988	0,50	2012	0,77
1965	-0,17	1989	0,38	2013	0,82
1966	-0,07	1990	0,52		
1967	-0,02	1991	0,51		
1968	-0,10	1992	0,23		
1969	0,01	1993	0,27		
1970	0,07	1994	0,38		
1971	-0,08	1995	0,56		

Source : National Aeronautics and Space Administration - Goddard Institute for Space Studies.

1. Représenter graphiquement cette série temporelle.
2. Commenter les différentes phases de l'évolution de la série.

On constate clairement qu'à partir du milieu des années 70 les différences de températures s'éloignent de plus en plus de la moyenne des années 1951-1980. L'écart est d'ailleurs positif, malgré une certaine variabilité (régulière et irrégulière). En effet, une certaine cyclicité est remarquable (5 ans environ).

FIGURE 1 – SÉRIE BRUTE : MOYENNE ANNUELLE DES DIFFÉRENCES DE TEMPÉRATURE SUR L'ENSEMBLE DU GLOBE PAR RAPPORT À LA MOYENNE DURANT LA PÉRIODE 1951-1980.



### 3. Déterminer graphiquement quel modèle résume le mieux cette série.

Le modèle ne semble pas excessivement clair (souvent le cas avec des données véritables). Toutefois, les amplitudes de la composante saisonnière ( $S_t$ ) sont constantes par rapport à une certaine tendance de fond, le modèle est donc additif :

$$y_t = M_t + S_t + \varepsilon_t$$

Un autre problème se pose ici avec les variations saisonnières... Nous avons uniquement des données annuelles, donc sans sous périodes...

Cependant, la notion de périodicité s'applique également aux cycles de plusieurs années. Ainsi, on remarque que des cycles de 5 ans assez réguliers semblent se dessiner.

### 4. Estimer la tendance en utilisant la méthode des moyennes mobiles (vous retiendrez des périodes d'une durée de 5 ans).

Le calcul du trend par la méthode des moyennes mobiles est relativement simple :

$$M_t = \frac{\sum y_k}{k}$$

Dans notre cas :

$$M_3 = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5}{5}$$

$$M_4 = \frac{y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6}{5}$$

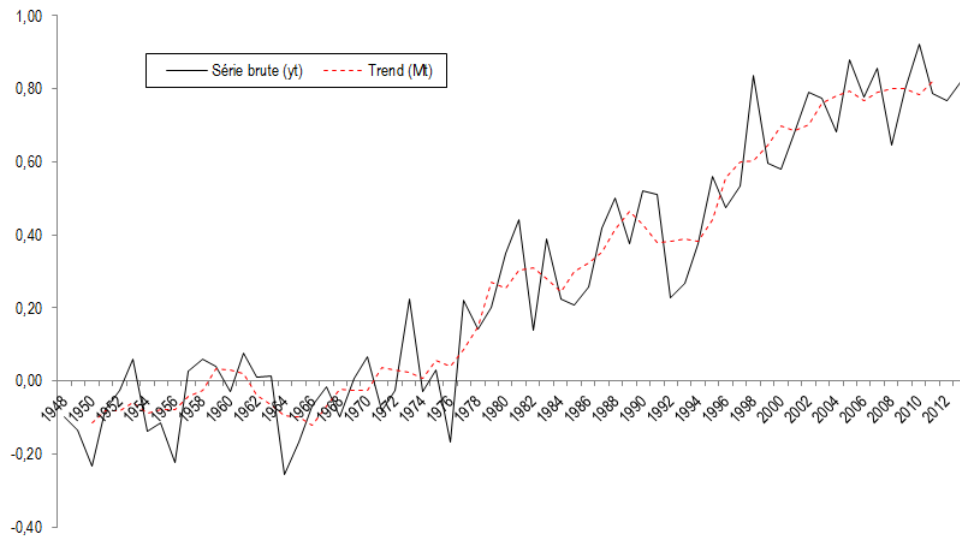
$$M_5 = \frac{y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7}{5}$$

$$M_6 = \frac{y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8}{5}$$

...

### 5. Représenter cette tendance sur le graphique précédent.

FIGURE 2 – TENDANCE CALCULÉE PAR LA MÉTHODE DES MOYENNES MOBILES.



**6. Calculer la série ajustée et donner une prévision de l'écart de température possible en 2020, 2035 et 2050.**

Avant de calculer la série ajustée (prévisionnelle), il va falloir dans un premier temps déterminer la série corrigée des variations saisonnières ( $y_{cvs}$ ). Sachant que série suit un modèle additif :

$$y_{cvs} = y_t - S_j$$

D'après le calcul présenté dans l'exercice 20, nous avons :

$$S_{j=1} = 0,05$$

$$S_{j=2} = -0,05$$

$$S_{j=3} = 0,01$$

$$S_{j=4} = -0,02$$

$$S_{j=5} = 0,01$$

On constate aisément que ces coefficients n'ont pas besoins d'être corrigés dans la mesure où ils vérifient l'

$$\sum S_j = 0$$

Ainsi, nous avons la représentation de la série CVS (figure 3).

En définitive, nous déterminons la série ajustée (prévisionnelle) par le calcul suivant (avec la méthode des moyennes mobiles) :

$$\hat{y}_t = M_t + S_j$$

Toutefois, afin de faire des prévisions sur les valeurs futures des variations de températures, il nous faut utiliser le trend calculé avec les MCO (voir calcul exercice 18), dans la mesure où seule la tendance par les MCO nous permet d'estimer la direction générale pour des valeurs futures de  $t$ .

$$f_t = 0,0166t - 0,28$$

En définitive, nous pouvons désormais prévoir les variations de températures en 2020, 2035 et 2050 (sous réserve du respect des conditions posées par le modèle additif).

FIGURE 3 – SÉRIE CORRIGÉE DES VARIATIONS SAISONNIÈRES.

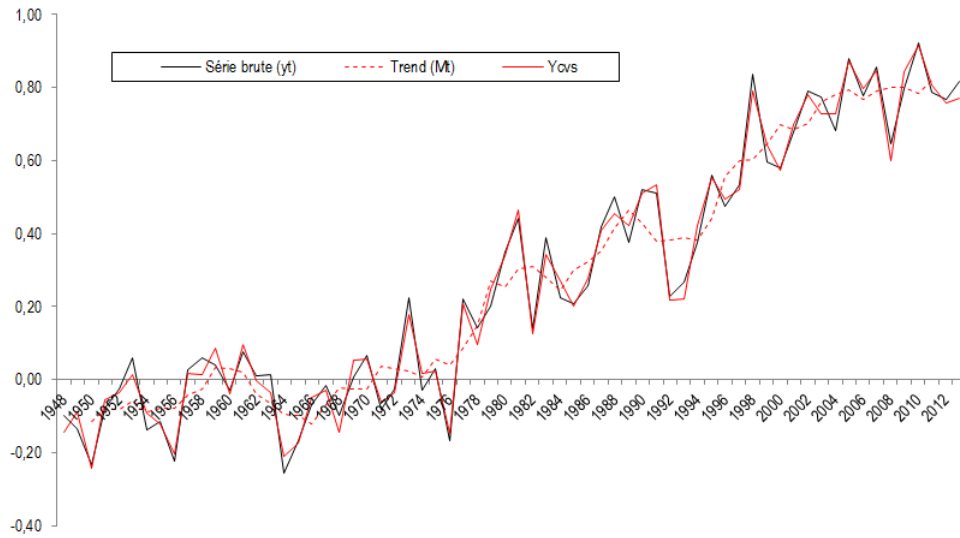


FIGURE 4 – SÉRIE AJUSTÉE.

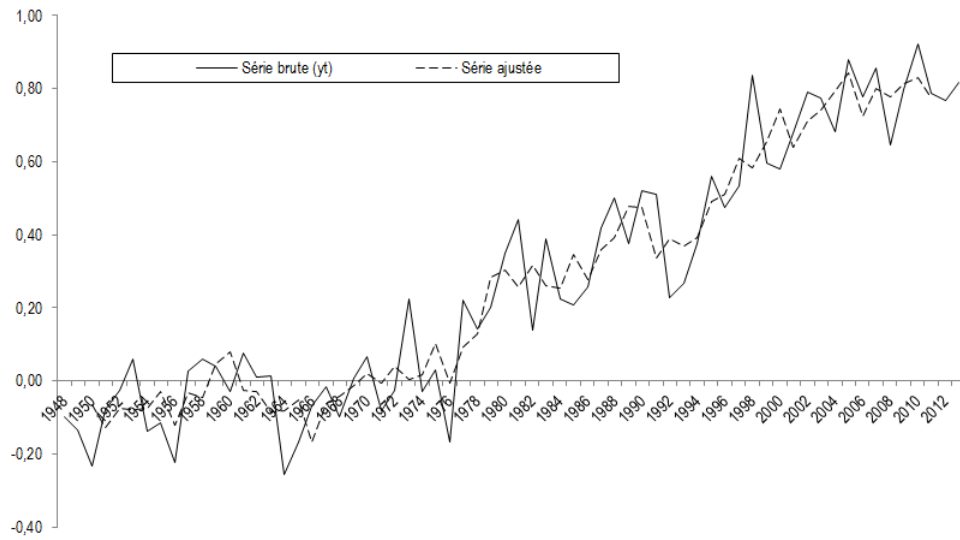
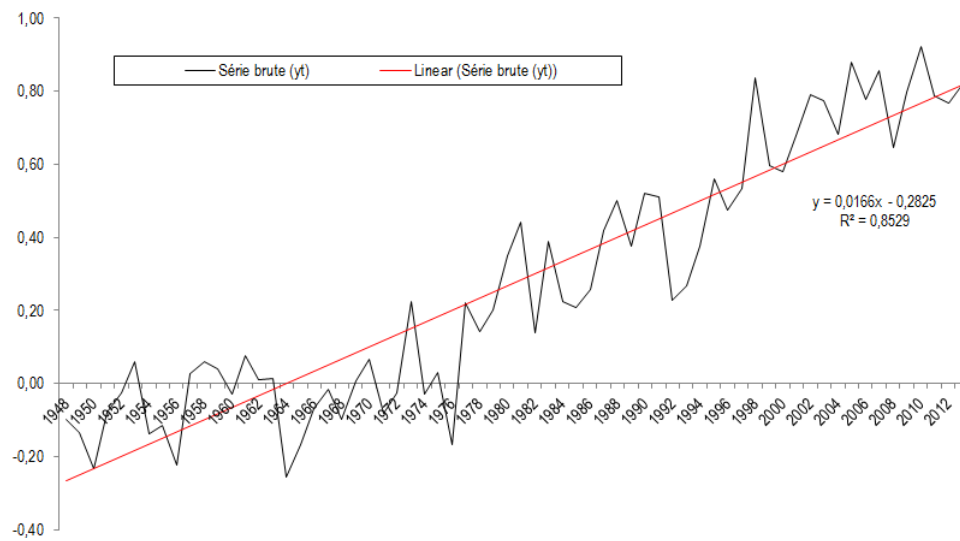


FIGURE 5 – TREND PAR LES MCO.



Pour 2020 (année 73 depuis 1948 et saison 3) :

$$\begin{aligned}y\hat{73} &= f_{73} + S_{j=3} \\y\hat{73} &= 0,0166 * 73 - 0,28 + 0,01 \\y\hat{73} &= \mathbf{0,94}^\circ\end{aligned}$$

Pour 2035 (année 88 depuis 1948 et saison 3 toujours) :

$$\begin{aligned}y\hat{88} &= f_{88} + S_{j=3} \\y\hat{88} &= 0,0166 * 88 - 0,28 + 0,01 \\y\hat{88} &= \mathbf{1,19}^\circ\end{aligned}$$

Pour 2050 (année 103 depuis 1948 et saison 3 toujours) :

$$\begin{aligned}y\hat{103} &= f_{103} + S_{j=3} \\y\hat{103} &= 0,0166 * 103 - 0,28 + 0,01 \\y\hat{103} &= \mathbf{1,44}^\circ\end{aligned}$$

En conclusion, sous les hypothèses (assez limitatives) du modèle envisagé, la variation de température était de + **0,82**° en 2013, mais sera de + **1,44**° en 2050 par rapport à la moyenne entre 1951 et 1980 ! Sous réserve qu'aucune modification vienne transformer le modèle ou qu'aucun choc (variations accidentelles) vienne le perturber.

7. **après avoir visionné le documentaire ‘Réchauffement climatique, les trois chiffres clés’, vous expliquerez pourquoi les données de températures peuvent-elles être considérées comme fiables à partir de 1880. Peut-on affirmer que le réchauffement climatique est uniquement du à l’urbanisation croissante autour des stations météo ? Expliquer précisément les deux limites que présentent les données de température à la surface du globe et dites comment les scientifiques arrivent à les surmonter. Comment le groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC) peut-il conclure que la température de la terre a augmenté de 0,85 degré depuis 1880 ?**

Références :

- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. et Medina-Elizade, M. (2006) [Global surface temperature change](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(39) :14288-14293.  
Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. et Lo, K. (2010) [Global surface temperature change](#). *Review of Geophysics* 48 :1-29.