

Licence-Master Sciences de la planète Terre

LICENCE (L3)

Océanographie générale

TD 4 - Bilans de chaleur et de salinité

RIWAL PLOUGONVEN ET EMMANUEL VINCENT
Ecole Normale Supérieure - Laboratoire de Météorologie Dynamique
bureau LMD12 - 01 44 32 27 31 - plougon@lmd.ens.fr

Mercredi 10 janvier 2007

1 Bilan de chaleur

1.1 Equation générale

- Q1. Rappelez les différentes façons pour l'océan de recevoir ou de perdre de la chaleur.
- Q2. Nous allons utiliser les notations suivantes :
- Q_s : flux provenant du soleil, dans des courtes longueurs d'ondes ;
 - Q_b : flux d'énergie émise par l'océan sous forme de rayonnement IR ;
 - Q_e : flux de chaleur de l'océan vers l'atmosphère sous forme de chaleur latente (énergie perdue par évaporation moins celle gagnée lors de condensation) ;
 - Q_h : flux net de chaleur de l'océan vers l'atmosphère échangé par conduction ;
- En considérant une situation stationnaire, écrire le bilan de chaleur pour l'océan à l'aide des termes ci-dessus.
- Q3. Si on considère non pas l'ensemble des océans mais une région seulement, et une situation instationnaire, il faut ajouter deux termes :
- Q_v : quantité de chaleur gagnée des régions voisines de l'océan par advection ;
 - Q_t : quantité de chaleur disponible pour chauffer l'océan (si ce terme est positif, la température de l'océan va augmenter, et inversement sinon).
- Réécrire le bilan de chaleur, mais pour une région de l'océan en situation instationnaire, en incluant ces deux termes.

1.2 Examen des termes individuels

- Q4. Les termes Q_s et Q_b peuvent être estimés à partir de mesures locales et de mesures faites à l'aide de satellites. Des relations empiriques ont été élaborées à partir de nombreuses

mesures collectées. La figure 1 montre une estimation de Q_b en fonction de deux paramètres locaux : la température de surface de l’océan et l’humidité relative de l’air à quelques mètres de la surface. Est-ce que la dépendance de Q_b en fonction de la température de surface de l’océan est celle que l’on attend ? Pouvez-vous expliquer pourquoi ?

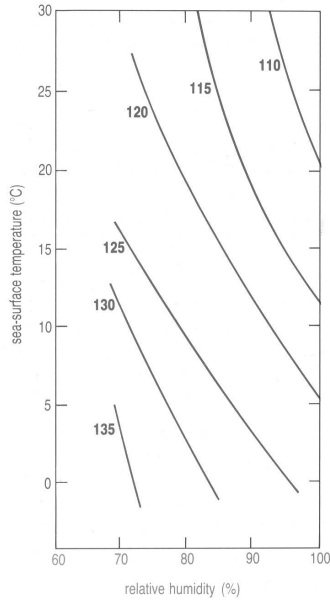


FIG. 1 – Relation empirique donnant Q_b (en $W m^{-2}$) en fonction de la température de surface de l’océan et de l’humidité relative dans les premiers mètres de l’atmosphère.

Q5. Les termes Q_h et Q_e sont difficiles à estimer. En effet, leur intensité dépend de la turbulence dans la couche limite atmosphérique, donc de processus très intermittents. La méthode la plus fiable pour estimer ces termes consiste à calculer la corrélation entre la vitesse verticale et la température (pour Q_h) ou l’humidité relative (pour Q_e). Pouvez-vous expliquer pourquoi ?

La méthode évoquée ci-dessus est très couteuse en temps, mais permet de calibrer d’autres méthodes plus simples, s’appuyant simplement sur des mesures des gradients verticaux de température (pour Q_h) et d’humidité relative (pour Q_e), et du vent à la surface de l’océan.

Q6. Fréquemment, l’océan est plus chaud que l’air au-dessus et Q_h est par conséquent positif. De même, Q_e est en général positif. Ce terme n’est négatif que dans quelques régions, comme au large de la Terre-Neuve. Les températures de surface de l’océan y sont très faibles (influence du courant du Labrador), suffisamment pour qu’il y ait condensation et donc un gain de chaleur par l’océan. Cette condensation entraîne également la formation de ‘brouillard d’advection’. Pourquoi cette appellation ? Quel autre mécanisme de formation du brouillard connaissez-vous ?

Q7. Les figures 2 et 3 montrent les distributions globales de Q_h et Q_e en juillet et en janvier. A quoi sont dues, d’après vous, les fortes valeurs au large du Japon et au large de la côte est des Etats-Unis ? Pourquoi sont-elles plus marquées en hiver qu’en été ?

Q8. A quoi sont dues les relativement faibles valeurs de Q_h et Q_e dans la partie est des bassins Atlantique et Pacifique, dans la bande équatoriale ?

Q9. En général, dès que la turbulence de la couche limite atmosphérique joue un rôle important, Q_h et Q_e varient ensemble. Le rapport entre les deux est appelé le rapport de Bowen. Il

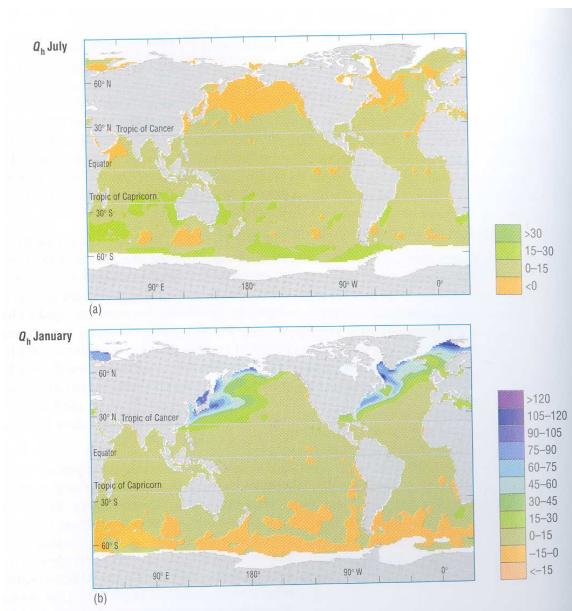


FIG. 2 – Distributions globales de Q_h (en $W m^{-2}$), pour les mois de juillet et janvier.

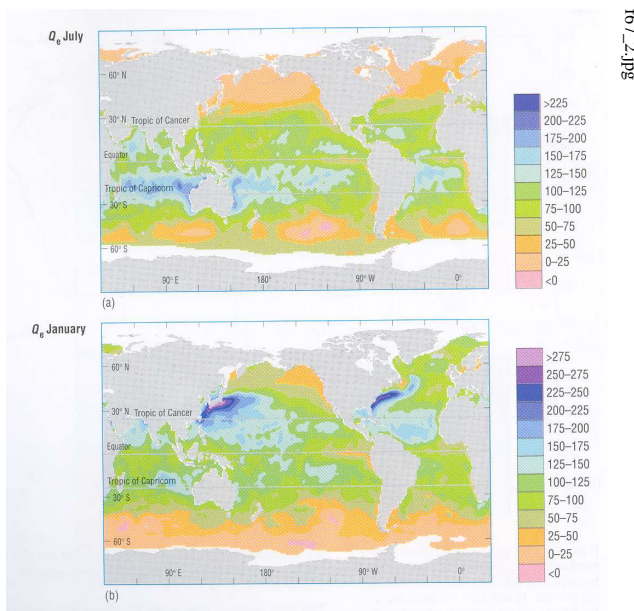


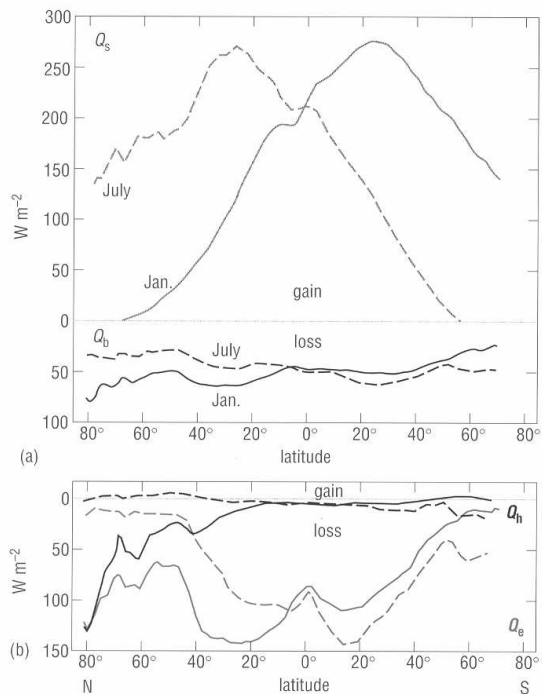
FIG. 3 – Distributions globales de Q_e (en $W m^{-2}$) pour les mois de juillet et janvier.

varie notamment en fonction de la latitude. D'après la figure 4, estimez le rapport de Bowen vers $70^\circ N$, près de l'Equateur ?

Q10. D'après la figure 4, est-ce que ce sont les échanges de chaleur latente ou de chaleur sensible qui sont les plus importants ?

1.3 Exemple des glaces de l'Arctique

Q11. Lorsque des glaces de mer se forment, le bilan de chaleur est profondément modifié. Pourquoi ? La formation de glaces de mer a une rétro-action sur le bilan. Celle-ci va-t-elle tendre à augmenter ou à diminuer la formation de glaces de mer ?



JM'89J

FIG. 4 – Variations avec la latitude des différents flux entrant dans le bilan de chaleur, pour les mois de janvier (courbes pleines) et juillet (pointillés) : a) termes radiatifs Q_s et Q_b ; b) termes liés aux échanges turbulents Q_h et Q_e .

- Q12. Expliquez pourquoi les glaces de l'Arctique peuvent constituer un indicateur particulièrement sensible au changement climatique ?
- Q13. Quel est l'effet de la formation de glace de mer sur la densité de l'eau sous-jacente ?
- Q14. Les polynies sont des zones libres de glace en plein $c\frac{1}{2}$ ur de la banquise. Elles peuvent être observées pendant plusieurs années au même endroit. Proposez une explication à la formation de polynie. Pourquoi ces régions sont importantes dans la production d'eaux profondes ?
- Q15. La polynie n'est pas stable si elle n'est pas entretenue. Comment l'interaction de la polynie avec la banquise environnante peut aboutir à arrêter la polynie ?

2 Bilan de salinité

2.1 Bilan pour un petit bassin

Nous allons appliquer le principe de conservation du sel pour une petite région (par exemple un fjord, un estuaire ou une mer semi-fermée comme la Méditerranée ou la Mer Baltique). On considère une portion d'un estuaire (Fig. 5). Le flux d'eau entrant à travers A_1 est V_1 ($m^3 s^{-1}$). Le flux d'eau sortant est V_2 . Dans la région considérée, les précipitations moins l'évaporation et l'apport des rivières contribuent à un apport F .

- Q16. Pourquoi peut-on considérer qu'il y a conservation du volume d'eau ? Ecrire, avec les termes introduits ci-dessus, cette conservation.
- Q17. Connaissant la salinité S_1 des eaux qui entrent par A_1 et la salinité S_2 des eaux qui sortent par A_2 , écrire la conservation du sel.

Q18. Utiliser les deux équations ci-dessus pour exprimer F en fonction de V_2 et des salinités.

2.2 Exemple de la Méditerranée

A travers le détroit de Gibraltar, on observe des flux d'eau provenant de l'Atlantique vers la Méditerranée près de la surface, et des flux en sens inverse en profondeur.

Q19. Estimez S_1 (salinité des eaux entrant) et S_2 (salinité des eaux sortant) d'après la figure 6.

Q20. Dans la Méditerranée, l'évaporation dépasse les précipitations et l'apport des rivières par $7 \cdot 10^4 m^3 s^{-1}$. Estimez les flux V_1 et V_2 .

Q21. La Méditerranée contient environ $3.8 \cdot 10^6 km^3$ d'eau. D'après l'estimation précédente, combien de temps faut-il pour renouveler une fois l'eau de la Méditerranée ?

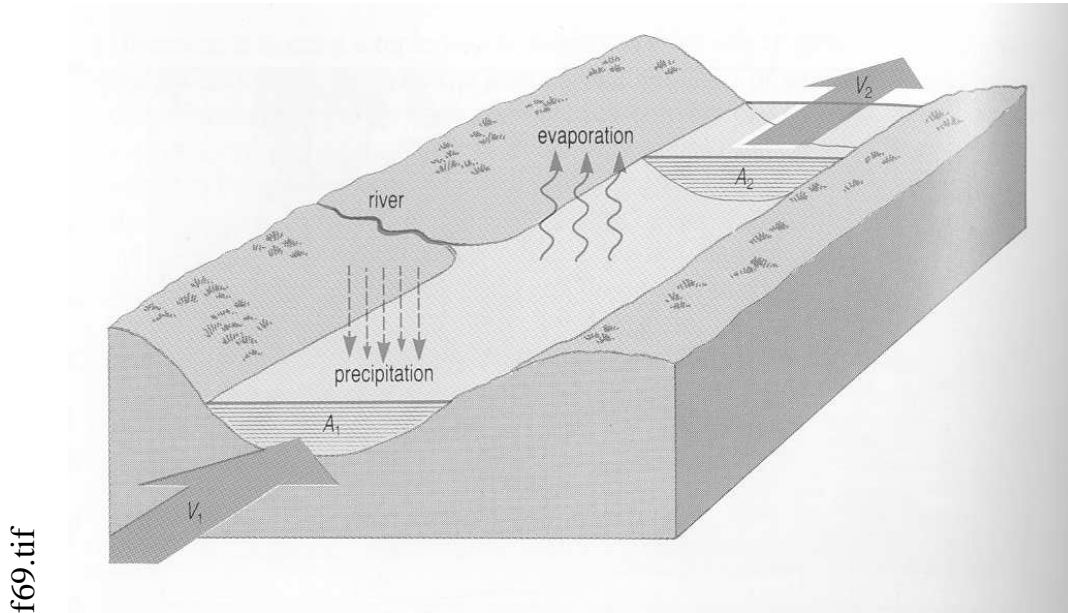


FIG. 5 – Schéma de l'estuaire considéré dans la partie 2.1.

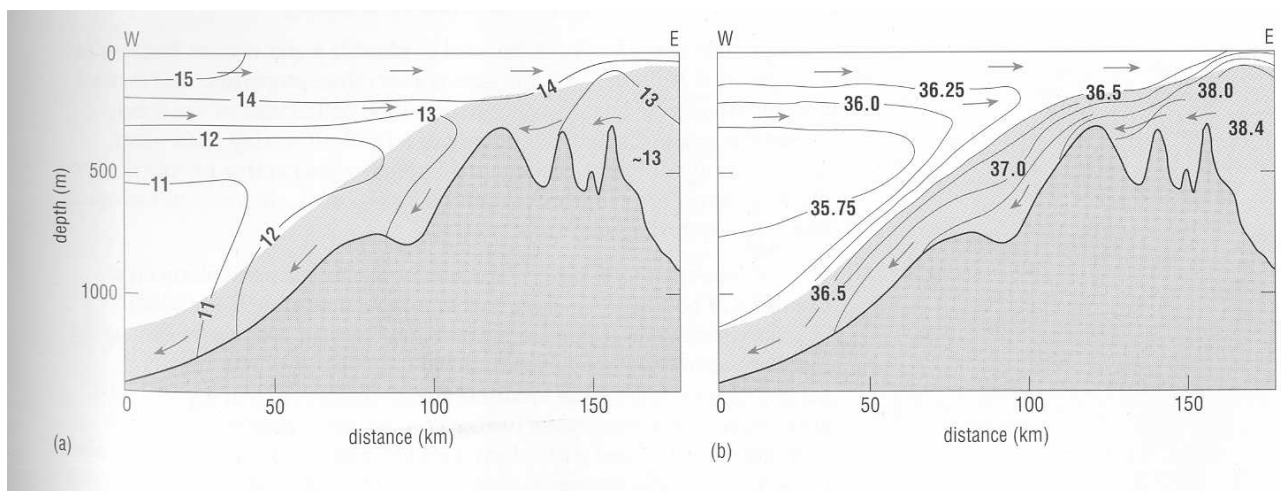


FIG. 6 – Coupe ouest-est à travers le détroit de Gibraltar montrant la température (a) et la salinité (b).

3 Transferts de quantité de mouvement

Le transfert de l'énergie cinétique des vents à l'océan ne suit pas une loi physique simple. La tension de vent τ est la force de friction (en N.m⁻²) résultant de l'action du vent sur la surface de l'océan, elle a été expérimentalement trouvée comme étant proportionnelle au carré du vent :

$$\tau = c V^2$$

Q22. Comment pensez-vous que c varie avec la vitesse du vent ?

Du fait de la friction avec la surface, la vitesse du vent diminue quand l'altitude diminue. L'altitude à laquelle on mesure le vent est donc importante ; par convention on mesure le vent à 10m.

Q23. Pour un vent à 10m de 10m/s, la tension de vent est de l'ordre de 0,2 N.m⁻². Donnez la valeur de c et son unité SI. c doit-il dépendre de la densité de l'eau ou de l'air ? Justifiez l'introduction d'une constante sans dimension.

Q24. Une fois la quantité de mouvement transférée depuis l'air vers l'océan superficiel, par quels mécanismes se propage cette mise en mouvement en profondeur ? Tracez un profil vertical de densité typique de l'océan aux basses latitudes. Discutez la facilité de mise en mouvement de chacune des couches.