

4. Le cycle de l'eau

Agnès Ducharne et Katia Laval

L'eau circule continuellement dans les enveloppes superficielles de la Terre, au sein de plusieurs grands compartiments : les océans, la cryosphère (neige et glaces), la lithosphère (sols et sous-sol), l'atmosphère et la biosphère.

Pourquoi et comment un cycle ?

Ces compartiments sont les éléments constituant le système climatique, dont la masse d'eau totale est quasiment constante. Le rayonnement solaire, absorbé par la surface du globe, provoque l'évaporation des océans, lacs, rivières et sols, la transpiration des plantes, et la sublimation de la glace et de la neige. Mais de multiples autres transports participent au cycle de l'eau (figure 1) : dans l'atmosphère, sous forme vapeur essentiellement, mais aussi liquide ou solide au sein des nuages ; de l'atmosphère vers la surface par précipitation de l'eau ou de la glace contenues dans les nuages ou par condensation directe (brouillards) ; dans les océans par les courants, ou dans la lithosphère, à travers les sols, le sous-sol et les cours d'eau, qui se déversent dans les océans.

En moyenne globale, chaque m^2 de la surface de la Terre évapore 1 000 l, soit une hauteur de 1 m, d'eau par an, et reçoit une précipitation équivalente. Ces valeurs masquent cependant de forts contrastes, dans le temps (variabilité saisonnière et interannuelle) et dans l'espace. En particulier, l'évaporation annuelle moyenne par m^2 est deux fois plus forte depuis les océans que depuis les continents, où l'eau est moins facilement disponible. Dans le domaine océanique, l'évaporation excède les précipitations, à l'inverse du domaine continental. Ce déséquilibre entraîne

un transport de vapeur d'eau dans l'atmosphère depuis les océans vers les continents, contrebalancé par le transport d'un volume équivalent d'eau liquide depuis les continents vers les océans.

Le cycle de l'eau global est donc constitué par deux branches horizontales, l'une atmosphérique et l'autre continentale, associées à des transports opposés, et couplées par deux branches verticales, où les échanges d'eau impliquent un changement de phase, qui précède leur transfert vertical (figure 1).

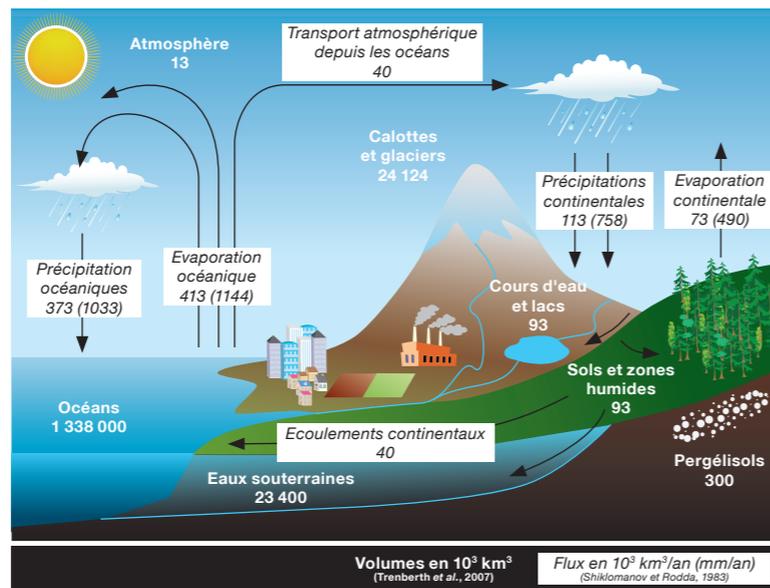


Fig. 1 – Le cycle de l'eau global. ■

Branche atmosphérique et circulation générale

Dans l'atmosphère, c'est la circulation des masses d'air qui permet de transporter la vapeur d'eau de ses sources (évaporation) à ses puits (précipitation). Elle permet donc d'expliquer les variations géographiques de la pluviosité. Sur les continents, les zones côtières sous les vents issus des océans (ouest de l'Europe et du Canada, sud-est des États-Unis) sont ainsi mieux arrosées que les zones plus continentales. Mais les précipitations sont aussi plus fortes quand les conditions sont favorables à la condensation. C'est notamment le cas quand l'air subit un refroidissement, ce qui est fréquemment associé à des ascendances. A condition que l'humidité soit suffisante, les précipitations sont donc abondantes sur les reliefs, souvent vus comme les châteaux d'eau des continents.

A l'échelle du globe, les plus fortes précipitations apparaissent en zone équatoriale, où les masses d'air s'élèvent en permanence de quelques mm/s. Le moteur est le rayonnement solaire, maximum au niveau de l'équateur, où il chauffe fortement les basses couches de l'atmosphère. La dépression équatoriale, ainsi créée, favorise une ascendance qui constitue la branche équatoriale de la cellule de Hadley*. L'air qui arrive au sommet de l'atmosphère est expulsé vers les régions subtropicales, et ramené vers la basse atmosphère par la branche descendante de la cellule de Hadley. Le parcours est fermé par les alizés, qui transportent l'air des régions subtropicales vers l'équateur. Dans la branche ascendante de cette cellule, la décroissance de la température avec l'altitude est alors suffisante pour déclencher la convection, qui nous offre le spectacle grandiose des cumulo-nimbus, tours blanches dont la hauteur peut dépasser 10 km (cf. II.14). Ces mécanismes

Compartiment	Volumes		Temps de résidence
	10^3 km^3	m	
Océans	1 338 000	2624	2500 ans
Cryosphère	Calottes	24 000	47
	Pergélisols	300	0,588
	Glaciers de montagne	124	0,243
Eaux souterraines	Profondes	19800	39
	Superficielles	3600	7
	Sols et zones humides	28	0,055
Lacs d'eau douce	91	0,178	17 ans
Mers intérieures	85	0,167	Non estimé
Atmosphère	13	0,025	8 jours
Cours d'eau	2	0,004	16 jours
Biosphère	1	0,002	quelques heures

Fig. 2 – Volumes et temps de résidence* des principaux compartiments impliqués dans le cycle de l'eau. Les volumes s'entendent en eau liquide ; les valeurs en mètre sont obtenues en étalant le volume sur toute la planète. D'après Shiklomanov et Rodda, 1983. ■

engendrent les maxima de précipitations annuelles à l'échelle du globe. L'air descendant de la deuxième branche de la cellule de Hadley est très sec, ce qui explique l'existence de ceintures « désertiques » subtropicales, tant sur les continents que sur les océans.

Branche continentale et ressources en eau

L'eau douce « utile » pour les besoins des écosystèmes terrestres et des activités humaines a deux composantes majeures. La première est l'humidité des sols, souvent appelée « eau verte », car elle alimente la transpiration des plantes (cf. II.18), couplée par la photosynthèse à leur production de biomasse (cf. II.17). La seconde constitue les « eaux bleues », qui s'écoulent sous forme liquide dans les bassins versants, au sein des cours

d'eau, lacs, et dans les roches aquifères*. Comme pour le pergélisol*, les volumes et la distribution des eaux souterraines sont mal connus, mais on estime que seules les plus superficielles (environ 3,6 millions de km^3) circulent activement dans le cycle de l'eau, dont 10 % rejoindraient les océans sans transiter par les cours d'eau (cf. III.9).

Ces ressources en eau « utile » ont un volume faible, tout comme leur temps de résidence* (figure 2), ce qui traduit un renouvellement rapide, à même de soutenir des prélèvements plus importants sur le long terme que le volume moyen. *In fine*, elles sont perpétuellement renouvelées par distillation de l'eau de mer lors des changements de phase du cycle de l'eau. Le reste des eaux souterraines et l'eau de la cryosphère offrent des volumes plus importants, mais mal connus, plus difficiles à exploiter (éloignement et conditions extrêmes) et peu renouvelables (temps de résidence très longs).

Références bibliographiques

- K. LAVAL et G. LAVAL – *Incertitudes sur le climat*, Editions Belin 2013.
- I. A. SHIKLOMANOV et J. C. RODDA – *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*, Cambridge University Press, 1983.
- K. TRENBERTH *et al.* – *Estimates of the global water budget and its annual cycle using observations and models data*, J. Hydrometeorology, 8, 758–769, 2007.