

What is a 'fleuve'?

Gilles Arnaud-Fassetta

Professor of Geography, University of Paris, UMR 8586 PRODIG

5, rue Thomas Mann, F-75205 PARIS Cedex 13, France

gilles.arnaud-fassetta@u-paris.fr

1. Definition of 'fleuve'

In French, a 'fleuve' (Latin *fluvius*, from *fluere*, to flow) refers to a river whose permanent waters and their load (solid, dissolved) reach the sea or the ocean directly. Some 'fleuves' cross vast territories, such as the Amazon River, flowing 7025 km from the sources of the Río Apurímac to the Atlantic Ocean. Others, which are 'fleuves' in the same way, have their source only at small distances from the coast and are then called 'fleuve côtier' (*i.e.*, coastal river), such as the Veules River flowing into the English Channel after traveling only 1149 m in the Pays de Caux. If the majority of 'fleuves' are exoreic, leading to the sea, some of them (rivers Amour-Daria/Syr-Daria, Volga, Jourdain) are endoreic by flowing into inland seas (Aral, Caspian, Dead) or by getting lost in the desert, such as the Tarim River (Taklamakan desert, China) or the Okavango River (Kalahari desert, Botswana). In the French tropical islands, rivers flowing into the ocean are called 'ravines'. The 'fleuve' waters may temporarily flow into another river (as in the case of the Zambezi River, which, via one of its tributaries, the Magwekwa River, receives surplus water from the Okavango River in years of high flow). To add to the complexity, the Anglo-Saxons do not make the written difference between 'fleuve' and 'rivière' (river), any more than we did in France in the Middle Ages, when the term 'rivière' was applied to all watercourses, including the rivers Seine, Loire and Rhône.

2. The 'fleuve' in its watershed

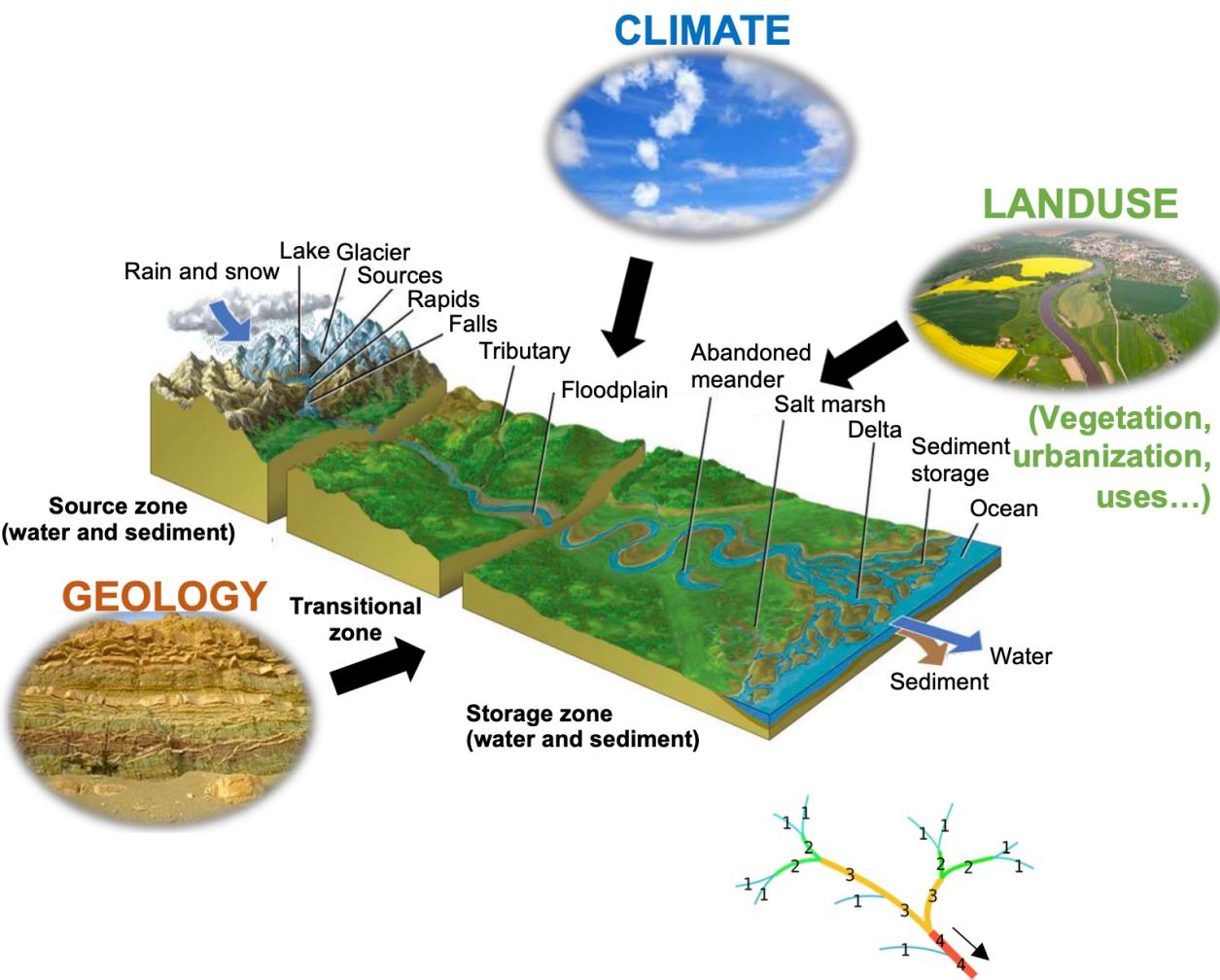
Whatever its hydraulic geometry, a 'fleuve' reveals the processes operating in its watershed (Figure 1). From its water, sediment and solute supply area, the 'fleuve' embodies this main drain resulting from the confluence of several tributaries, ultimately forming a hierarchical hydrographic network. At the watershed outlet, the rank given to the 'fleuve' (Amazon River: 12; Rhône River: 10; Seine River: 8) reflects the hydrographic structure and density (Strahler, 1952) as well as other physical variables (Bethemont, 1999). If we consider the length of the main drain (in km), we obtain for the first three world 'fleuves' the following ranking: Amazon River (7025), Nile River (6853), Yangtze River (6380). With the surface area of the watershed (in km²), we get: Amazon River (6,112,000), Congo River (3,680,000), Nile River (3,400,000), and with the river flow (in m³/s): Amazon River (209,000), Congo River (41,800), Orinoco River (36,000). By comparison, the longest 'fleuve' in France (Loire River; 1006 km) is only 186th in the world; the most abundant French 'fleuve' (Rhône River; 1700 m³/s) is 48th in the world, even though its relative abundance

(*i.e.*, flow rate compared to the surface area of the watershed) puts it on a par with the Amazon River. The integration of human criteria (demographic density, historical and cultural depth of settlement, organization of space on a regional scale) makes it possible to perfect the typology of large 'fleuves' (Sanjuan, 2004).

The source of a 'fleuve' can be unique (glacier) or multiple (several tributaries), sometimes even difficult to identify, as in the case of the Amazon River. A 'fleuve' flows in a valley that it has dug itself or by taking advantage of the erosion work perpetrated beforehand by mountain glaciers (trough) or by eustatic lowering (ria, *i.e.* fluvial valley flooded by the sea), only to leave it when it has reached the soft coast at the outlet of the watershed. The floodplain is then shaped into a delta or an estuary depending on the frequency and magnitude of the erosion processes controlled by the meteorological and marine agents. In low-energy 'fleuves', the water flow often has a lotic (slow-moving) facies, although the margins (floodplain, oxbows) may be lentic (slow-moving still water). The rapid flow facies is typical of Mediterranean 'fleuves' subject to flash floods (the Roya River in 2020 – 2021). The waterfall facies is observed in large 'fleuves' such as the Zambezi River or Niagara River. Regardless of how they flow, 'fleuves' are remarkable ecological corridors, vital for animal and plant biodiversity (Piégay and Gregory, 2005).

'Fleuve' alluvium, generally decreasing in size downstream in the watershed, displays contrasting grain-size medians at its mouths (Amazon River: 4 µm, fine silt; Yangtze River: 0.17 mm, fine sand; Yallahs River: 3 cm, gravel). The morphology of the bed also varies from upstream to downstream and from one 'fleuve' to another depending on the energy of the water flow (given by the slope), its transport capacity and the sediment supply, which depends on the effects of erosion in the watershed. Thus, in the valley bottom, a rocky bed, which expresses a fluvial section with a single, high-energy channel, can precede a floodplain crossed at first by several channels separated from each other by alluvial bars (*i.e.*, active channel), then by a sinuous or meandering channel, thus creating three 'riverbeds' – minor, medium and major –, which can be delimited according to the intensity and frequency of river flows (Bravard and Petit, 1997).

Seasonal variability, controlled by the position of low and high waters, characterizes the hydrological regime, which corresponds to the way in which the waters (rain, snow and/or ice melt, resurgence) of the watershed are conducted to the 'fleuve' and how the 'fleuve' discharges them during the year. The regime reflects fairly well the spatial and temporal distribution of the net volume of rainfall in the watershed when it is pluvial. Integrating the



Strahler ordination (1952)

Figure 1. The 'fleuve' in its watershed. Ordination of the hydrographic network by the Strahler method (1952).

size and characteristics of the watershed, the river flow (in m^3/s) is measured at the gauging station by multiplying the flow velocity (in m/s) by the wetted area (in m^2). Thus, nearly a quarter of the land surface is drained by twelve 'fleuves' each discharging more than $4,10^{11} \text{ m}^3/\text{a}$ (Milliman and Farnsworth, 2011). The share of freshwater introduced into the oceans by large Asian 'fleuves', originating from the high plateaus and mountains of the Himalayan system, and by those draining large tropical (South America, Africa) and Siberian watersheds, is estimated at 35% (Figure 2A). However, of the 19 billion tons of alluvium that leave the watersheds each year (Figure 2B), two thirds come from Southeast Asia and Oceania, particularly from the Ganges River, Brahmaputra River and Huáng Hé River, which alone discharge 20% of the fluvial load (solid and dissolved).

3. Understanding the 'fleuve' through time

'Fleuves' have a history (Bravard and Magny, 2002). This is guided by the variability of local (autocyclicity, anthropization) or global (hydroclimatic change, eustatism, tectonics, the first two including the possible effects of anthropization) control factors which, in the end, will lead 'fleuves' in their valley and delta/estuary to more or less irreversible geomorphological adjustments (incision vs. infilling; widening vs. contraction of the

riverbed; Bravard, 1994). 'Fleuves' sometimes accomplish a 'metamorphosis' (*sensu* Schumm, 1969) through a lasting substitution effect of channel pattern: for example, from braided (Upper Pleniglacial) to wandering pattern (early Tardiglacial) and then to meandering pattern (Tardiglacial – Holocene) in the Somme valley (Antoine *et al.*, 2011; Figure 3).

In the Rhône valley, the multi-decadal to secular variability of water and alluvial flows in the Holocene results in hydrological crises (change of regime, dominated by floods) interspersed with phases of irregularity or calm (Arnaud-Fassetta, 1998). The last remarkable hydrological crisis occurred during the Little Ice Age (14th – 19th centuries) as a result of an exacerbation of the effects of erosion by anthropogenic actions in the watershed, against a background of hydroclimatic crisis (increased flood frequency/magnitude in a cooler, wetter climate; Pichard *et al.*, 2017). In the Camargue (Mediterranean), the Rhône River underwent a fluvial metamorphosis at the beginning of the 18th century with the shaping of the 'deltaic braided pattern' in the last years of the Bras de Fer activity. Going back in time (5.96 – 5.33 Ma), the 'Messinian salinity crisis', which lasted 630,000 years, is responsible for the entrenchment of the Ebro, Rhône (1300 m), Pô and Nile canyons, which metamorphosed into progressively filled-in Gilbert-deltas during the Zanclean transgression (Clauzon *et al.*, 1996).

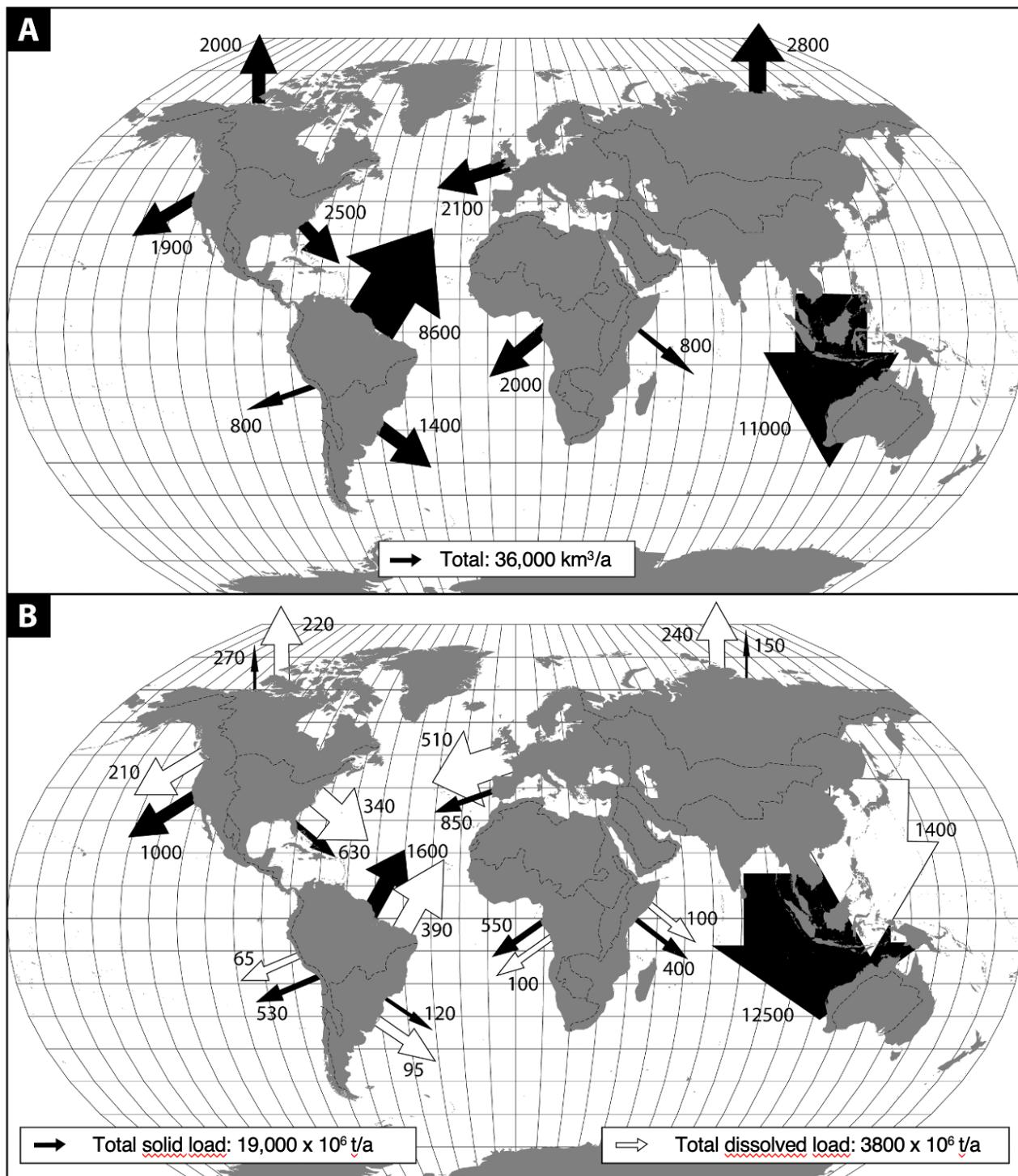


Figure 2. Global denudation budgets from continents to oceans.

A: Freshwater inputs ('fleuves') expressed in m^3/a ; B: Alluvial (black arrows) and solute (white arrows) inputs expressed in $10^6 \text{ t}/\text{a}$ (adapted from Milliman and Farnsworth, 2011, in Fort et al., 2015).

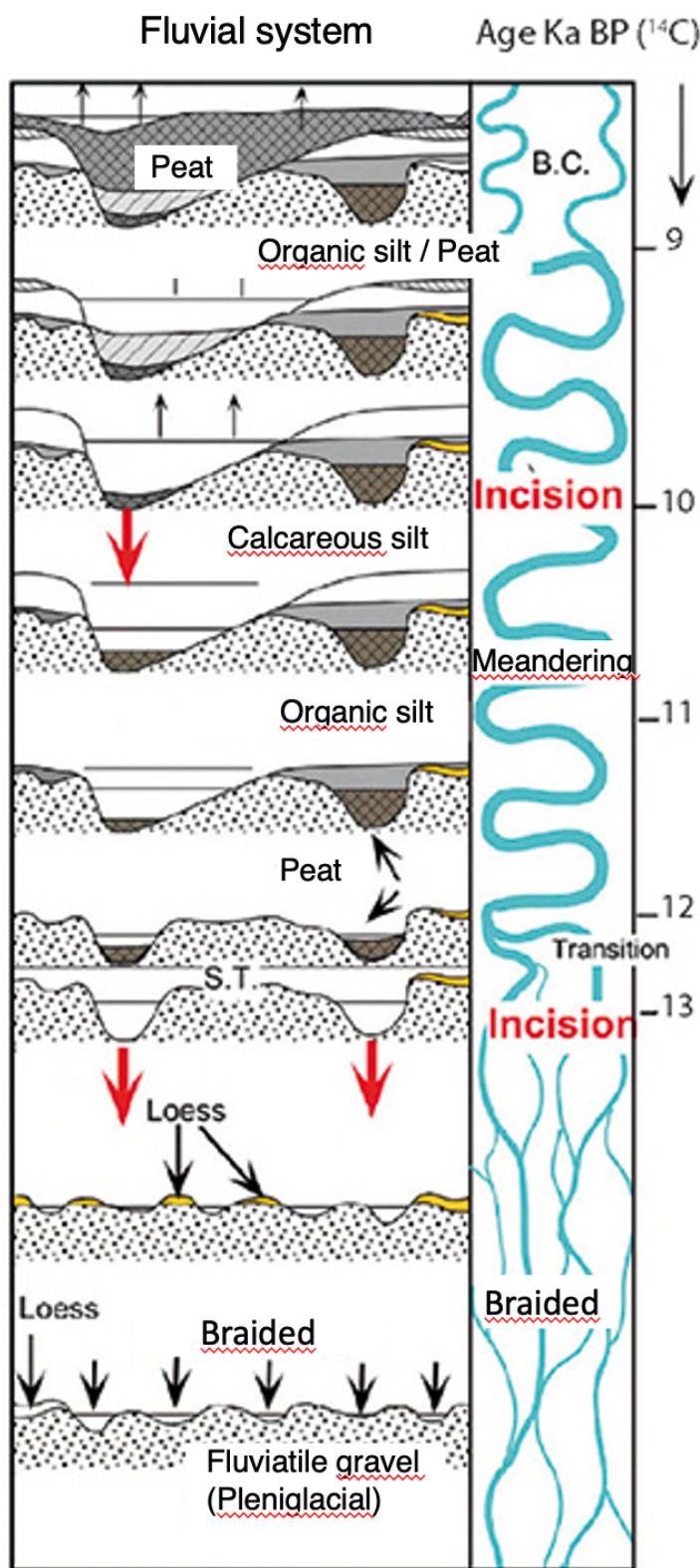


Figure 3. Geomorphological change of the Somme River since the Pleniglacial
(after Antoine *et al.*, 2011).

This crisis, which resulted in the progressive drying up followed by the very sudden infilling of the Mediterranean basin, is consecutive to the (tectonic) closure of the Gibraltar strait and the lowering (1500 – 2000 m) of the marine water body by evaporation, before its reconnection to the Atlantic Ocean.

4. 'Fleuve' and channel change in modern times

While the 'fleuves' of northern countries entered modernity with remarkable metamorphoses, the last of these, of anthropogenic origin, often took the toll of what remained of their self-adjustment capacities. Although some began to be dammed in the Middle Ages (Gautier *et al.*, 2007), most of the 'fleuves' in industrialized countries were definitively dammed during the 19th century, to limit the flooding of the valley bottom and promote its development. Their channel pattern was simplified by rectifying their course (lengthwise and crosswise) in order to increase their navigability, while at the same time raising their riverbanks, which were solidified by riprap. The expected consequence was the deepening of the river beds, which went from several channels (or from a wide and shallow channel) to a single, deep channel. Downstream of Lyon city, the guaranteed 2-m mooring in the Rhône River thus increased from 96 days in 1876 to 300 days in 1925, valorizing the full success of the work of the 'Freycinet Plan' and the engineers Jacquet and Girardon (Bethemont and Bravard, 2016).

At the same time, in the course of the twentieth century, many dams were built around the world to control hydrological extremes, for hydroelectricity and irrigated agriculture, or simply for drinking water supply. Some of these dams have made 'fleuves' more navigable. Today, there are 800,000 of them, of which 52,000 are considered as large dams (height >15 m and reservoir >3 Mm³). The four main dam-building countries own three quarters of them: China (45%), United States (14%), India (9%) and Japan (6%). Nearly two-thirds of the 57 large dams associated with the most powerful power plants (>2000 MW) in operation, under construction or planned on 'fleuves' are owned by five countries: China (35%), United States (9%), Brazil (9%), Russia (7%) and Canada (5%). Paradoxically, the largest dams began to be built on relatively modest 'fleuves' to complete the largest ones: 1931 (Colorado, 620 m³/s; Hoover, 2080 MW; **Figure 4**); 1933 (Columbia, 7500 m³/s; Grand Coulee, 6809 MW); 1956 (Yenisei, 19.800 m³/s; Krasnoyarsk, 6000 MW); 1975 (Paraná, 19,800 m³/s; Itaipu, 14,000 MW); 2003 (Yangtze, 30,000 m³/s; Three Gorges, 22,500 MW; **Figure 5**). The future largest dam in the world will be the one built on the Congo River (41,500 m³/s) as part of the Grand Inga project (Pourtier, 2021), which plans to supply up to 40% of the African continent's electricity with a capacity (39,000 MW) almost twice that of the Three Gorges Dam.

5. Spatial structuring by the "fleuve"

'Fleuves' are linear that help to structure the space. They were very early (as early as 6500 years ago) the privileged places of installation of societies, in Mesopotamia, in Egypt and in the great deltaic plains of India and China, with the emergence of the culture of adapted cereals. These first riverine societies mastered hydraulics while adapting to the hydrological crises of the

'fleuve'. In the Rhône delta, 80% of antique and medieval sites were found on former alluvial ridges and creations/abandonments of rural sites occurred independently of the hydrographic, hydrological and hydraulic state of the 'fleuve' (Arnaud-Fassetta and Landuré, 2015). But 'fleuves' are not, strictly speaking, a unifying force, and we often find it difficult to manage singular practices or divergent strategies of riverine communities, from one riverbank to another, from upstream to downstream, from watershed to ecoregion, from one continent to another.

'Fleuves' are territorial boundaries. They can act as an administrative border between two states, as in the case of the Congo River, which is mainly the border between the Democratic Republic of Congo and the Republic of Congo, or the Upper Rhine between France and Germany. These border 'fleuves' have been the seat of conflict between neighbouring states or disputed for themselves, as in the case of the Amur River, a large part of whose course has marked the border between the Russian Far East and China since the signing of the Treaty of Peking (1860). We can also refer to the deltaic channels of the Danube River, which have been very disputed in recent history (Boulineau, 2008), having belonged successively to the Ottoman Empire (15th century), the Russian Empire (1829), Moldavia/Ottoman Empire (1856), Russia/Romania (1878), Romania (1918), the USSR/Romania (1940), and Ukraine/Romania (1991).

'Fleuves' are natural obstacles, which have been progressively made crossable by human action. The difficulty of crossing from one riverbank to the other is recalled by the Carthaginian warrior Hannibal (via Titus Livius) who, arriving from Spain in 218 BC, had to cross the lower Rhône River with his army (about 50,000 infantrymen, 10,000 horsemen and 37 elephants) to fight the Gallic enemy on the opposite riverbank. Later on, the problematic crossing of the 'fleuves' was alleviated by the construction of bridges, some of which, well calibrated against extreme floods and not completely destroyed by wars, are still in place since antiquity, such as the Ponte Sant'Angelo (Rome) on the Tiber River or the Puente Trajan (Alcántara) on the Tagus River. Today, the 'fleuves' are spanned by remarkable modern bridges, such as the Brooklyn Bridge (New York), the Yángluó Chángjiāng dàqiáo (Wuhan), the Ponte 25 de Abril (Lisbon)... They also appear as the only possible ways to travel where it is not practical to go on land (Amazon River).

6. The 'fleuve' in the urban space

The riverbanks of the 'fleuve' have been possible sites for the establishment of large cities and metropolises in the world, for two essential reasons, which have to do with the need for water (consumption, fishing resources, exploitation, uses, waste disposal, hydraulic protection belt...) and site effects (basin configuration). Today, there is also and above all an interest in the valley as an axis for the movement of capital and goods, the latter by road, rail and waterways, which goes beyond the sole involvement of the 'fleuve'.

The typology of urban sites set up along rivers, proposed by J. Bethemont (1999), explains the most common locations (**Figure 6**): cities close to a mining resource (Duisburg); estuary cities (Shanghai); delta cities (Cairo); confluence cities (Manaus); cities of easy passage on a

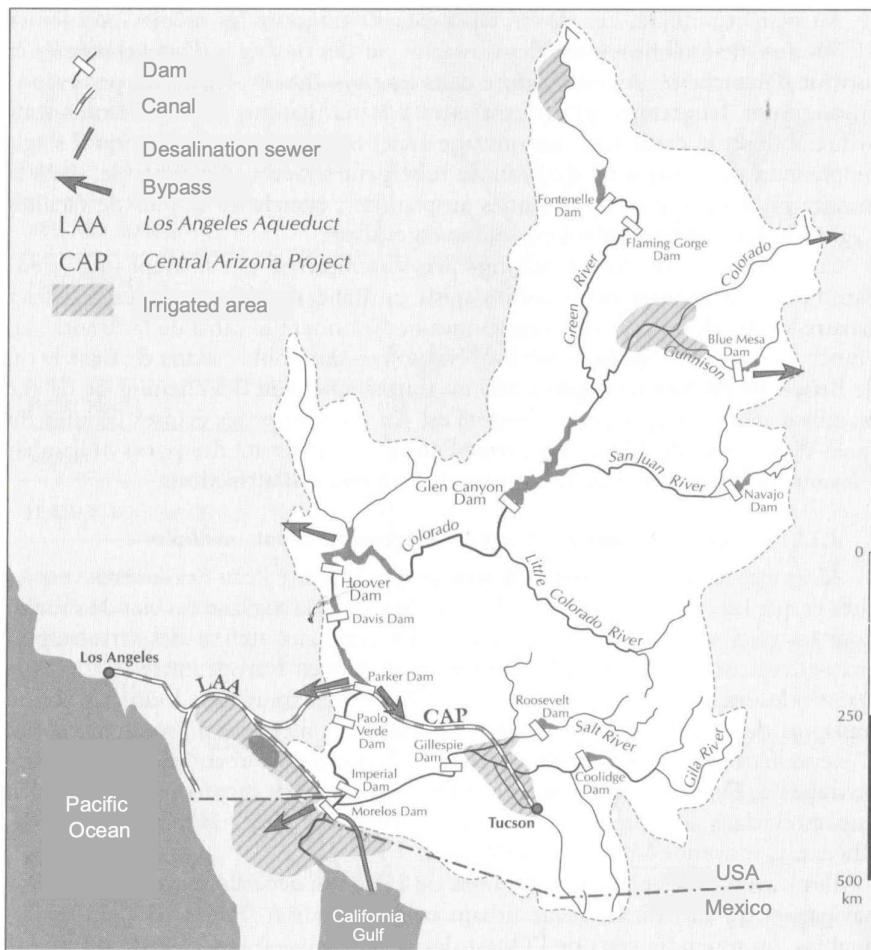


Figure 4. The hydraulic development of the Colorado watershed
(after Bethemont, 1999).



Figure 5. The Three Gorges Dam on the Yangtze River (photo: Geoengineer.org).
Commissioned in stages between 2003 and 2012, it forms a 600-km long water reservoir. In 2020, the dam and its power plant produced 111.795 million MW/h, equivalent to one third of the electricity production of the French nuclear power plant in the same year. The impacts of this hydroelectric work, the largest in the world, are the cause of a vast environmental and geopolitical controversy.

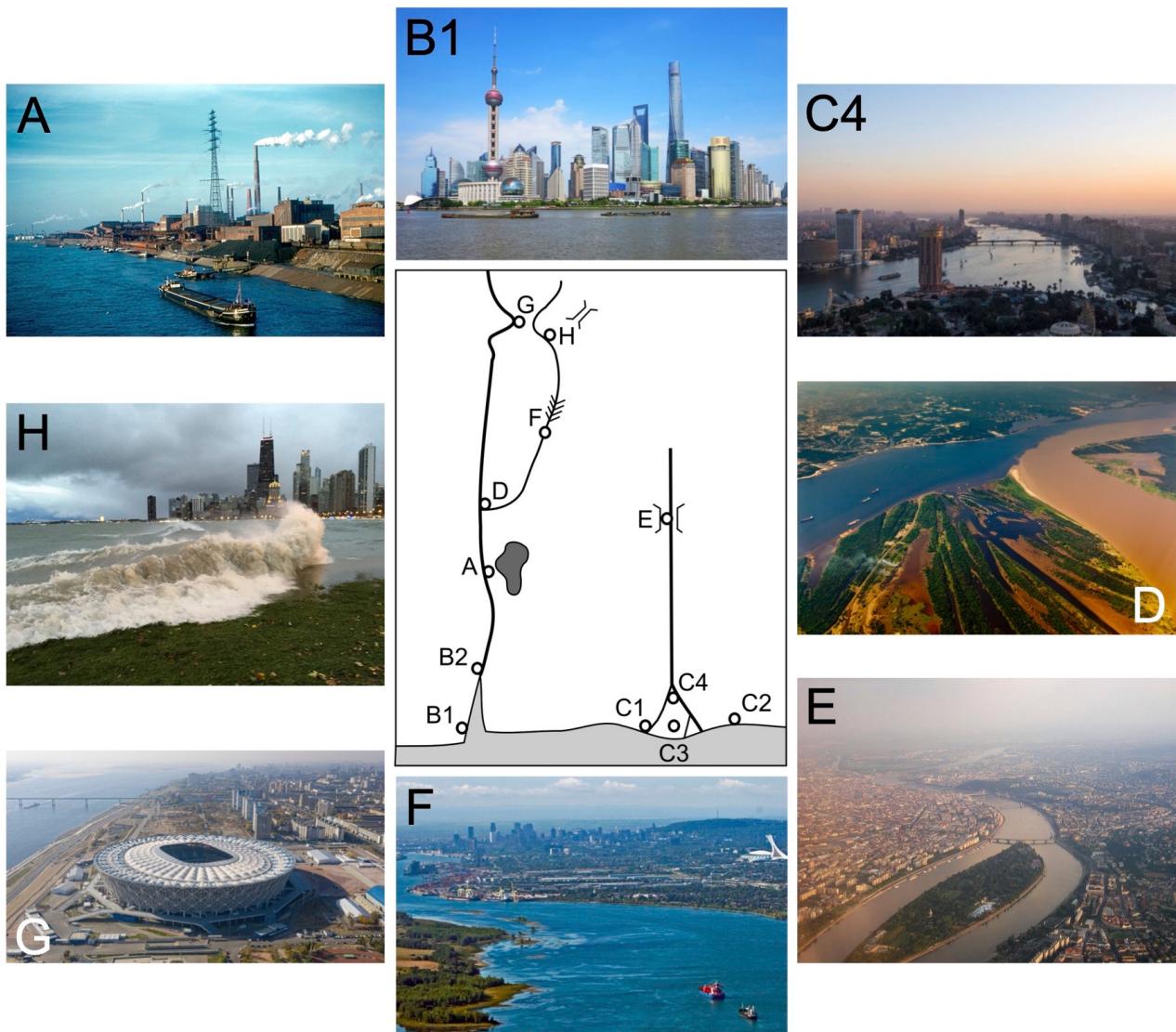


Figure 6. Typology of urban sites along the 'fleuves' (adapted from Bethemont, 1999).

- A. Duisburg on the Rhine River, 1960 (<https://www.flickr.com/photos/24736216@N07/3007898595>).
- B. Shanghai on the Yangtze River, 2015 (<https://www.pxfuel.com/en/free-photo-ovoizr>).
- C. Cairo on the Nile River, 2019 (photo: Xinhua/VNA/CVN).
- D. Manaus on the Rio Solimões/Rio Negro confluence, 2011, downstream of which the 'fleuve' takes the name of Amazon (photo: Portal da Copa).
- E. Budapest on the Danube River, 2005 (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Budapest>).
- F. Montreal on the St. Lawrence River, 2016 (photo: Ivanoh Demers, La Presse archives).
- G. Volgograd on the Volga River, 2018 (<http://www.arne-mueseler.com>).
- H. Chicago between the Great Lakes and the Mississippi watershed, 2014 (<https://www.flickr.com/photos/43788330@N05/16807304806>).

difficult 'fleuve' (Budapest); cities on a break in slope and load (Montreal); meander cities facilitating passage between basins (Volgograd); cities opening the communication system to another (Chicago). The 'fleuve' can become a structuring element in the organization of urban space, as in the case of Lyon city (**Figure 7**).

The study of 'fleuves' helps to understand the (dys)functioning of their valley and characterize different types of space. Based on several criteria (size of the watershed and abundance of water; nature of the physical environment; population density; wealth and poverty; history and culture; societal choices), J. Bethemont (1999) defines five major types of 'fleuves': (i)

'fleuve' (Amazon River) or dammed 'fleuve' (Congo River); (ii) active and devalued 'fleuve' (Mississippi); (iii) structuring 'fleuve' (St. Lawrence River); (iv) pioneer front (Siberia); (v) European 'fleuves', between dysfunction (Danube River) and coherent region as continental crossroads, cultural/economic world and circulation corridor (Rhine River). We could add the case of the Yangtze River, which illustrates not so much a region or a pioneer front as an east-west 'linearity' with strong provincial segmentation, transverse to the Chinese coastline and economic logics, but nonetheless well intended by the State (Sanjuan, 2004).

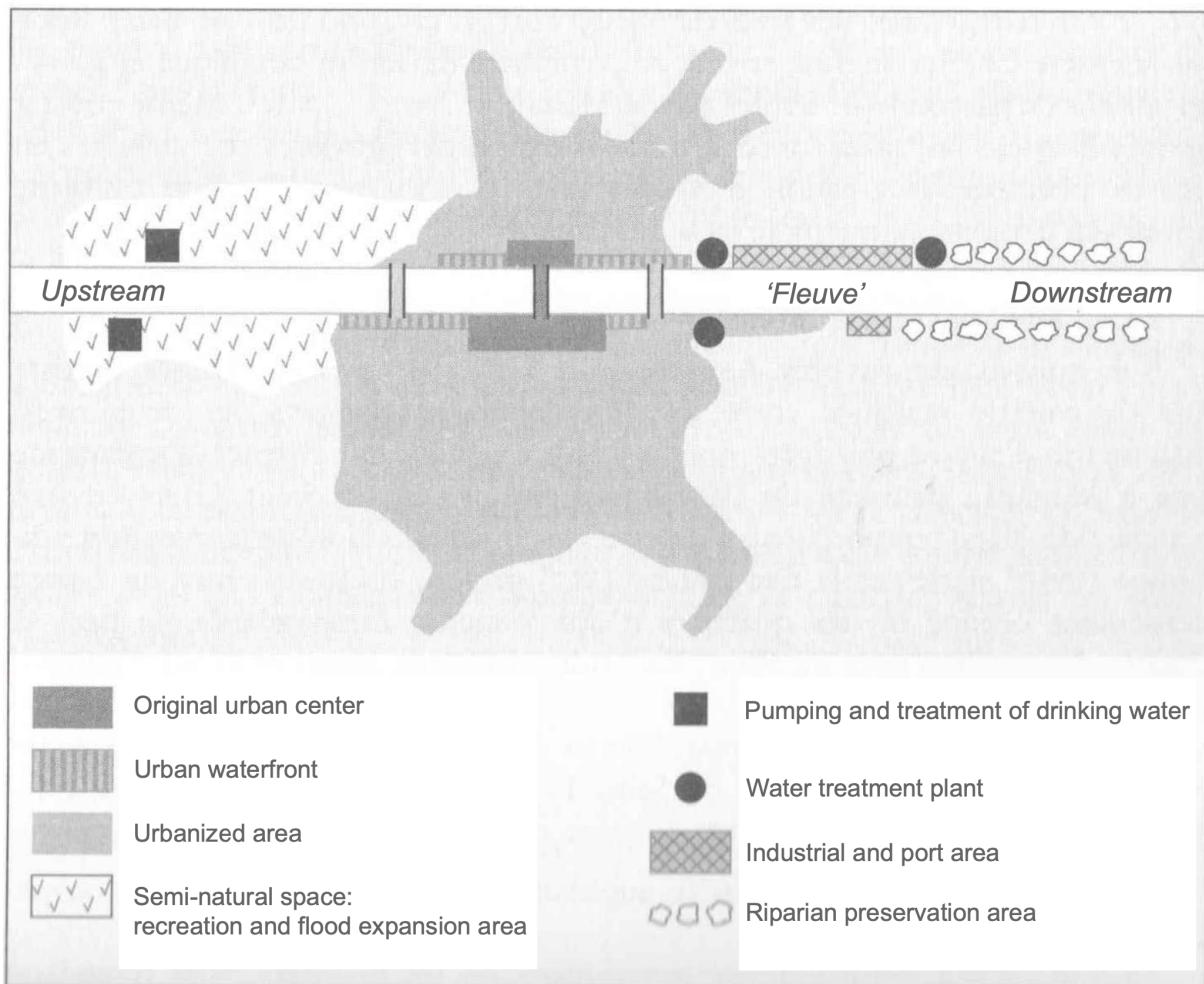


Figure 7. Structuring of the urban space along the Rhône River in Lyon city
(after Bethemont, 1999).

7. Economy and trades of the 'fleuve'

'Fleuves' are at the heart of many economic activities. The 'fleuves' have made it possible to create trades, giving rise to and sustaining, either directly (bargemen, boatmen) or indirectly (rope makers, carpenters, sailors, 'river companions', farmer-passengers, lock keepers, millers, carters, stevedores, laundresses) a diverse community (*i.e.*, the 'fleuve' people), which is as complementary as it is conflicting, and which is attached to the exploitation of the river's routes and resources (Fau *et al.*, 2007; **Figure 8**). The channelization, mechanization, industrialization and globalized reorganization of the waterways have eliminated many of these ancestral trades dependent on 'fleuves', but have also led to the emergence of new ones (scientific watch, cruising...). Some of these old trades of 'people of the water's edge' are today leading certain human groups to marginalization on the Rhône River, Danube River and Amazon River as well as on Chinese or Indian rivers (Bethemont, 1999).

From the middle of the 20th century to the present day, however, 'fleuves' have allowed the development of numerous activities. They obviously allow fishing activities (elver, sturgeon...) and fish farming. Beyond the strict valley, in front of the river mouths, fresh water and alluvium combine with salt water to attract fish (sardines, flatfish...) on very good fishing areas whose sustainability

depends on the harvesting practices. Furthermore, in spite of certain advantages (profitability), river transport is declining due to numerous constraints (site, time, organization, poor adaptation to the transport of light goods). Driftwood is still transported by water, especially on Asian rivers (bamboo). The use of pumping water more or less deeply for irrigation has shown its limits throughout the 20th century, so that large 'fleuves' are now identified as the alternative of choice for irrigation systems in well-watered monsoon Asia (rivers Yangtze, Huáng Hé, Ganges, Brahmaputra), the arid diagonals (rivers Indus, Amou-Daria, Syr-Daria, Tigris, Euphrates, Nile, Senegal, Niger, São Francisco) and the rich or emerging countries (rivers Mississippi, Columbia, Volga, Danube, Paraná). Some 'fleuve' valleys (Loire, Rhône, Garonne/Gironde...) are eminently known for their excellent vineyards and world-renowned wines. Industry often develops along the 'fleuves'. Historically (18th – 19th centuries) in industrialized countries, factories were set up on the riverbanks of waterways (port cities) because that is where the raw materials arrived (Ruhr/Rhine River). In the less industrialized countries, the 'fleuve' city is rather connected to the mines. In the industrialized countries, the industrial sites in the high valleys have been in decline since the beginning of the 20th century. Electricity production was relocated to the major valleys, first in Canada (St. Lawrence River) and United States (Mississippi River),



Figure 8. 'Fleuve' trades. The Port au Blé and the Pont Notre-Dame, Seine River, Paris
(L.N. de Lespinasse, 1782; Musée Carnavalet, Paris, France).

then in Europe (Rhône River, Danube River). At the same time, hydroelectricity was the driving force behind Soviet industrialization in many valleys (Dnieper River, Volga River, Yenisei River). From the 1950s, the emergence of nuclear energy gradually gave rise to 'fleuve' sites with high technological risk. Today, some 'fleuves' appear as structuring large economic regions, going beyond the framework of their watershed, such as the Rhine area, while others become like links between two economic areas, like the Rhône Valley in Europe. 'Fleuves' are also the support of a varied tourist activity, inviting both to visit historical river sites and to create resorts resolutely turned towards the river. River tourism favors boating, cruises, boat rides, local water sports, water skiing, swimming, fishing, diving, hiking, biking and camping. They have become recreational (fun fishing, sport fishing, shows, culinary arts) and cultural (Musée des Confluences in Lyon city, Avignon Festival) places, while still remaining religious places (sacred 'fleuves' in India). The riverbanks are also an art of living, like the 'guinguettes' on the rivers Garonne/Gironde, Loire and Rhône in the Camargue. The 'fleuve' also allows to maintain the community identity (Amazonian Indians).

8. The 'fleuve', a place of practices, a source of conflicts, and a territory at risk

If the riverbanks of the 'fleuve' are easily appreciated when the beauty of the running water associated with those of the relief forms manages to touch the observer, by the landscape or a singular phenomenon, such as the tidal bore in the Gironde River or the break-up of the Lena River, if they were immortalized by painters such as Monet, whose talent is equalled only by his quality to observe and describe the various states of the 'fleuve' (**Figure 9**), 'fleuves' are also places of conflict between various uses. Societies first consider 'fleuves' as a resource of water (city, countryside) and materials (extraction of sand and aggregates, wood). But this resource is on the one hand exhaustible, and on the other hand it can constitute conflicts of use, which very often arise from its bad distribution or use. The case of India illustrates the problem well: rainfall and river floods

are concentrated over a few months during the monsoon. For the long months that follow, the management of water scarcity becomes a major ecological, economic and social problem. For 200 million Indians do not have access to a source of drinking water and 2 million (mostly children) die each year from water-borne diseases. The Asian Development Bank estimates a 50% deficit in water resources in India by 2030. Geopolitical conflicts over the difficult sharing of water in 'fleuves' that often cross borders have flourished throughout the world (rivers Nile, Niger, Jordan, Tigris, Euphrates, Brahmaputra...; Raison and Magrin, 2009). Other risk opening up at any moment, while new forms of hydro-piracy are regularly regenerated, such as the millions of cubic meters of water from the Amazon River loaded into supertankers destined for the water-deficient Middle East, because the cost of desalinating sea water would be more expensive than transporting it by boat from Brazil.

'Fleuves' also represent a risk zone for the populations living along their riverbanks or depending on them, or using them. The forms of 'fleuve' risk are multiple: risk of diffuse pollution on the scale of the watershed area, linked to local excesses of cities, agriculture and industry; risk of inundation (flood hazard) and/or technological risk (dam failure, nuclear power plant accident); risk of water shortage (Aral Sea); health risk (diseases linked to water, its biotope and its environment). The consideration of these dangers linked to the 'fleuve' requires the elaboration of a risk prevention plan.

9. 'Fleuve' and sustainable development

'Fleuves' are sensitive environments that must be preserved. They have been strongly impacted by major works (channelization, diking, dams, extraction of aggregates, power plants), which have led to many consequences: channel incision, increase in hydraulic slope and erosive forces, alteration of hydrological regimes, flooding of thousands of hectares and, by way of consequence, destabilization of engineering aquifers,



Figure 9. Ice rafts on the Seine River in Bougival
(C. Monet, 1868).

warming of waters, hydrological drought, structures and hydraulic structures, lowering of alluvial interruption of upstream-downstream and lateral hydro-sedimentary connectivity, ecological continuity, loss of biodiversity, erosion of deltaic banks, hydro-technological risk, not to mention the pollution linked to agricultural, urban and industrial (petrochemical, nuclear) discharges, which affect water and sediments, in addition to the physiological and socio-economic impacts induced by the rearrangement of the river environment on the scale of the watershed. The maintenance of biodiversity will require the development of protective reserves as well as changes in societal, economic and political behavior towards the environment.

The future of 'fleuves' is envisaged through good governance between urban waters and watershed waters in a perspective of sustainable development and global changes. In fact, the issue of climate change puts the large 'fleuves' at the forefront of the water resource/sustainable development dialectic. Asia is particularly concerned, as are the other continents. The predicted disappearance of two thirds of the glaciers (in the event that global warming exceeds 1.5°C) compromises the water regime and balance, which will make water resources scarcer for nearly 1.65 billion human beings living in the watersheds of the large

'fleuves' of the Himalayan system, which are the Yangtze, Brahmaputra, Mekong, Indus and Brahmaputra. The Syr Darya and the Amu Darya can be added to these 'fleuves' to form the water tower of the Asian continent (Immerzeel *et al.*, 2020). The scarcity of water, already marked in some countries, including India and China, its scarcity due to climate change, and the fact that the majority of the population is concentrated in cities and along the 'fleuves', give rise to fears of a disastrous water war. Tropical 'fleuves' are still very poorly known, and it is on them that scientific research efforts must be focused.

Bibliography

- Antoine P., Bahain J.-J., Auguste P., Fagnart J.-P., Limondin-Lozouet N., Locht, J.-L., 2011. Quaternaire et Préhistoire dans la vallée de la Somme : 150 ans d'histoire commune. In Hurel A., Coye N. (Eds.) *Dans l'épaisseur du temps. Archéologues et géologues inventent la Préhistoire*. Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 341-381.
- Arnaud-Fassetta G., 1998. *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*. Ph.D. in physical geography, University of Provence (Aix-Marseille 1), 329 p.
- Arnaud-Fassetta G., Landuré C., 2015. Fluvial risk in rural areas from the Greek period to the early Middle Ages: The case of the Rhône delta (France). In Arnaud-Fassetta G., Carcaud N. (Eds.) *French Geoarchaeology in the 21st Century*. CNRS Éditions, Paris, 213-234.
- Bethemont J., 1999. *Les grands fleuves. Entre nature et société*. Armand Colin, Paris, 255 p.
- Bethemont J., Bravard J.-P., 2016. *Pour saluer le Rhône*. Libel, Lyon, 400 p.
- Boulineau E., 2008. *Le Danube dans les Balkans. Balkanologie. Revue d'études pluridisciplinaires*, X, 1-2, online.
- Bravard J.-P., 1994. L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Géocarrefour*, 69, 1, 5-10.
- Bravard J.-P., Petit F., 1997. *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Paris, 222 p.
- Bravard J.-P., Magny M., 2002. *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15000 ans*. Édition Errance, Paris, 312 p.
- Carcaud N., Arnaud-Fassetta G., Évain C., 2019. *Villes et rivières de France*. CNRS Éditions, Paris, 295 p.
- Clauzon G., Suc J.-P., Gautier F., Berger A., Loutre M.-F., 1996. Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: Controversy resolved? *Geology*, 24, 4, 363-366.
- Fau A., Chatry D., Boucard D., Vassal V., Derouard J.-P., Delsalle P., Beaucarnot J.-L., Hovasse H., 2007. Métiers des fleuves et des rivières. *Nos Ancêtres. Vie et Métiers*, 26, 25-86.
- Fort M., Bétard F., Arnaud-Fassetta G., 2015. *Géomorphologie dynamique et environnement. Processus et relais dans les bassins versants*. Armand Colin, Paris, 336 p.
- Gautier E., Burnouf J., Carcaud N., Chambaud F., Garcin M., 2007. Les interrelations entre les sociétés et le fleuve Loire depuis le Moyen Âge. In Trémolières M., Schnitzler A. (Eds.) *Protéger, restaurer et gérer les zones alluviales, pourquoi et comment. Tec Doc*, 83-97.
- Immerzeel W.W., Lutz A.F., Andrade M., Bahl A., Biemans H., Bolch T., Hyde S., Brumby S., Davies B.J., Elmore A.C., Emmer A., Feng M., Fernández A., Haritashya U., Kargel J.S., Koppes M., Kraaijenbrink P.D.A., Kulkarni A.V., Mayewski P.A., Nepal S., Pacheco P., Painter T.H., Pellicciotti F., Rajaram H., Rupper S., Sinisalo A., Shrestha A. B., Viviroli D., Wada Y., Xiao C., Yao T., Baillie J.E.M., 2020. Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577, 364-369.
- Milliman J.D., Farnsworth K.L., 2011. *River discharge to the coastal ocean: A global synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, 393 p.
- Pichard G., Arnaud-Fassetta G., Moron V., Roucaute É., 2017. Hydrology-climatology of the Lower Rhône Valley: Historical flood reconstruction (AD 1300-2000) based on documentary and instrumental sources. *Hydrological Sciences Journal*, 24 p., online.
- Piégay H., Gregory S.V., 2005. Riparian wood in rivers: Issues and challenges. In Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E. (Eds.) *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press, London, 240.
- Pourtier R., 2021. *Congo. Un fleuve à la puissance contrariée*. CNRS Éditions, Paris, 272 p.
- Raison J.-P., Magrin M., 2009. *Des fleuves entre conflits et compromis. Essais d'hydropolitique africaine*. Karthala, Paris, 300 p.
- Sanjuan T., 2004. L'invention du Yangzi. Linéarité fluviale, segmentation provinciale et métropolisation littorale. In Bravard J.-P., Sanjuan T. (Eds.) *Le Yangzi et le Rhône*. Géocarrefour, 79, 1, 5-12.
- Schumm S.A., 1969. River metamorphosis. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division*, 6352, HY 1, 255-273.
- Strahler A., 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 923-938.

To cite this paper:

Arnaud-Fassetta G., 2021. What is a 'fleuve'? *University of Paris, UMR 8586 PRODIG*, Paris, 11 p. (online on May 5, 2021). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03538473>

The author thanks M. Fort and P. Cadène for their careful and constructive review of the text.

Qu'est-ce qu'un fleuve ?

Gilles Arnaud-Fassetta

Professeur de géographie, université de Paris, UMR 8586 PRODIG

5, rue Thomas Mann, F-75205 PARIS Cedex 13, France

gilles.arnaud-fassetta@u-paris.fr

1. Définition du fleuve

Un fleuve (latin *fluvius*, de *fluere*, couler) désigne un cours d'eau dont les eaux permanentes et leur charge (solide, dissoute) parviennent directement à la mer ou à l'océan. Certains traversent de vastes territoires, comme l'Amazone, coulant sur 7025 km depuis les sources du Río Apurímac jusqu'à l'océan Atlantique. D'autres, qui sont des fleuves au même titre, ne prennent leur source qu'à de faibles distances du littoral et sont alors nommés « fleuve côtier », à l'exemple de la Veules se jetant dans la Manche après avoir parcouru seulement 1149 m dans le Pays de Caux. Si les fleuves sont en majorité « exoréiques », conduisant à la mer, certains d'entre eux (Amou-Daria/Syr-Daria, Volga, Jourdain) s'affichent comme « endoréiques » en se déversant dans des « mers intérieures » (Aral, Caspienne, Morte) ou en allant se perdre dans le désert, comme le Tarim (désert du Taklamakan, Chine) ou l'Okavango (désert du Kalahari, Botswana). Dans les îles tropicales françaises, les cours d'eau débouchant dans l'océan sont appelés des « ravines ». Les eaux d'un fleuve peuvent temporairement se déverser dans un autre fleuve (cas du Zambèze qui, via l'un de ses affluents, le Magwekana, reçoit le surplus d'eau de l'Okavango les années de hauts débits). Pour ajouter encore à la complexité, les anglo-saxons ne font pas la différence écrite entre « fleuve » et « rivière » (*river*), pas plus que nous ne la faisions d'ailleurs en France au Moyen Âge, lorsque le terme « rivière » était appliqué à tous les cours d'eau, y compris à la Seine, à la Loire et au Rhône.

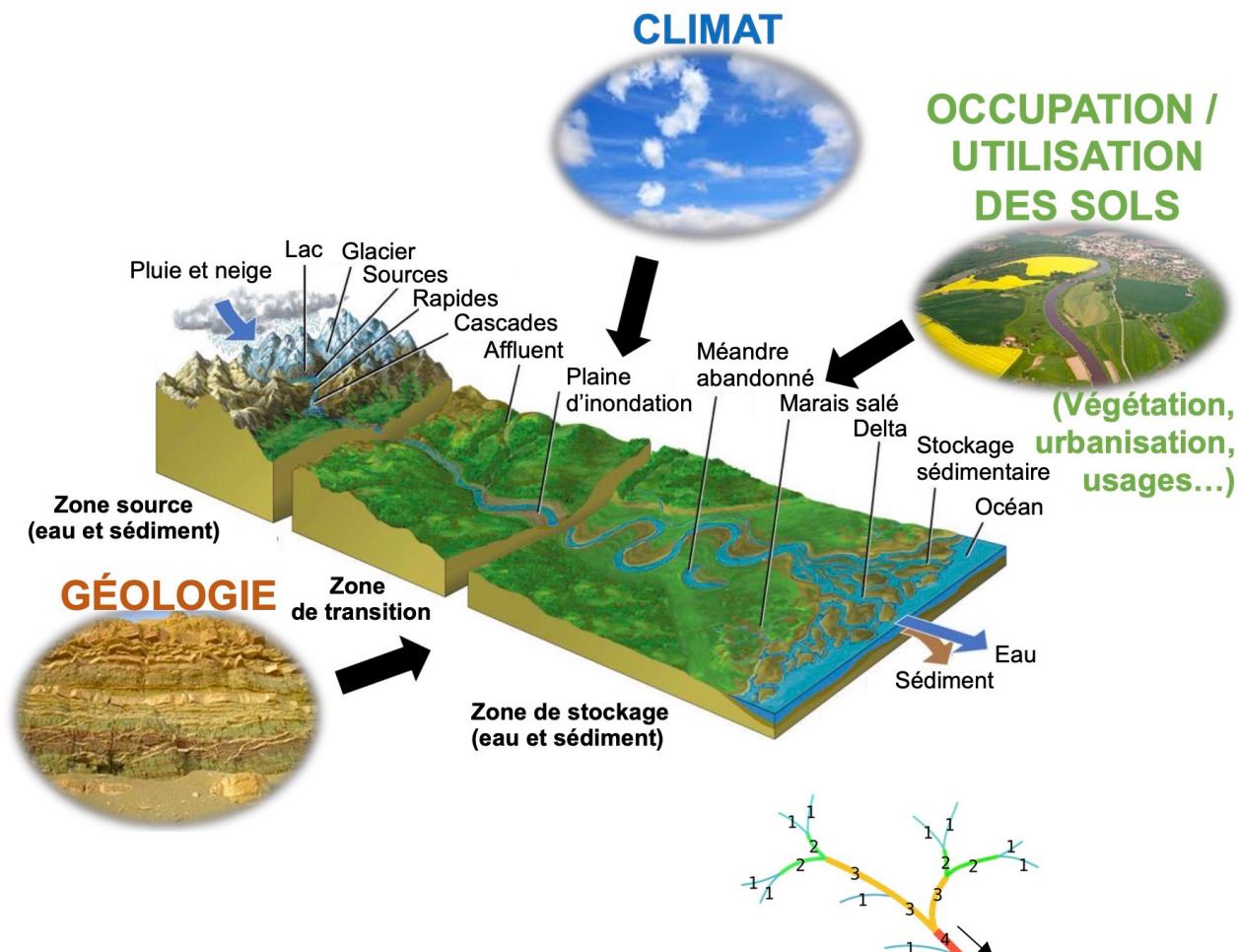
2. Le fleuve dans son bassin-versant

Quelle que soit sa géométrie hydraulique, un fleuve est révélateur des processus opérant dans son bassin-versant (**figure 1**). Depuis son aire d'alimentation en eau, sédiment et solutés, le fleuve incarne ce drain principal résultant de la confluence de plusieurs affluents, formant au final un réseau hydrographique hiérarchisé. À l'exutoire du bassin-versant, le rang donné au fleuve (Amazone : 12 ; Rhône : 10 ; Seine : 8) reflète la structure et la densité hydrographiques (Strahler, 1952) aussi bien que d'autres variables physiques (Béthemont, 1999). Si l'on considère la longueur du drain principal (en km), on obtient pour les trois premiers fleuves mondiaux le classement suivant : Amazone (7025), Nil (6853), Yangzi (6380). Avec la surface du bassin-versant (en km²), on obtient : Amazone (6.112.000), Congo (3.680.000), Nil (3.400.000), et avec le débit fluvial (en m³/s) : Amazone (209.000), Congo (41.800), Orénoque (36.000). Par comparaison, le plus long fleuve de France (Loire ; 1006 km) n'arrive qu'au 186^e rang mondial ; le fleuve français le plus abondant

(Rhône ; 1700 m³/s) se hisse au 48^e rang mondial, même si son abondance relative (débit rapporté à la surface du bassin-versant) le ramène à égalité avec l'Amazone. L'intégration de critères humains (densité démographique, profondeur historique et culturelle du peuplement, organisation de l'espace à l'échelle régionale) permet de parfaire la typologie des grands fleuves (Sanjuan, 2004).

La source d'un fleuve peut être unique (glacier) ou multiple (plusieurs affluents), parfois même difficile à identifier, comme dans le cas de l'Amazone. Un fleuve coule dans une vallée qu'il a creusée soit lui-même soit en profitant du travail d'érosion perpétré au préalable par les glaciers de montagne (auge) ou par un abaissement eustatique (ria, i.e. vallée fluviatile ennoyée par la mer), pour n'en sortir que lorsqu'il a atteint la côte meuble à l'exutoire du bassin-versant. Cette dernière se voit alors façonnée en delta (« sortant » morphologique) ou en estuaire (« rentrant ») selon la fréquence et la magnitude des processus d'érosion que contrôlent les agents météo-marins. Dans les fleuves de basse énergie, l'écoulement présente souvent un faciès « lotique » (courant lent), bien que les marges (plaine d'inondation, bras morts) puissent être de type « lentique » (eau calme à renouvellement lent). Le faciès d'écoulement « rapide » est typique des fleuves méditerranéens soumis à des crues énergiques (La Roya en 2020 – 2021). Celui de « chute » est observé dans les grands fleuves tels que le Zambèze ou le Niagara. Quelle que soit leur manière de s'écouler, les fleuves sont de remarquables corridors écologiques, vitaux pour la biodiversité animale et végétale (Piégay et Gregory, 2005).

Les alluvions des fleuves, de taille généralement décroissante vers l'aval du bassin-versant, affichent des médianes granulométriques contrastées à leurs embouchures (Amazone : 4 µm, limons fins ; Yangzi : 0,17 mm, sables fins ; Yallahs : 3 cm, graviers). La morphologie du lit varie également d'amont en aval et d'un fleuve à l'autre en fonction de l'énergie de l'eau (donnée par la pente), sa capacité de transport et la fourniture sédimentaire, qui dépend des effets de l'érosion dans le bassin-versant. Ainsi, dans le fond de vallée, un lit rocheux, qui exprime un tronçon fluvial à chenal unique et énergique, peut précéder une plaine alluviale parcourue d'abord par plusieurs chenaux séparés les uns des autres par des bancs, formant ce que l'on appelle une bande active de tressage, puis par un chenal sinuieux ou à méandres, dessinant alors trois lits – mineur, moyen, majeur – que l'on peut délimiter en fonction de l'intensité et la fréquence des écoulements fluviaux (Bravard et Petit, 1997).



Ordination de Strahler (1952)

Figure 1. Le fleuve dans son bassin-versant. Ordination du réseau hydrographique par la méthode de Strahler (1952).

La variabilité saisonnière, contrôlée par la position des basses et hautes eaux, caractérise le régime hydrologique qui correspond à la façon dont les eaux (pluie, fonte de la neige et/ou de la glace, résurgences) du bassin-versant sont conduites au fleuve et comment celui-ci les écoule dans l'année. Le régime reflète assez bien la répartition spatio-temporelle du volume net de pluies tombées dans le bassin-versant quand il est de type pluvial. Intégrateur de la taille et des caractéristiques du bassin, le débit fluvial (en m³/s) se mesure à la station de jaugeage en multipliant la vitesse d'écoulement (en m/s) par la section mouillée (en m²). Ainsi, près d'un quart de la surface terrestre est drainé par douze fleuves débitant chacun plus de 4.10¹¹ m³/an (Milliman et Farnsworth, 2011). La part de l'eau douce introduite dans les océans par les grands fleuves asiatiques, issus des hauts plateaux et montagnes du système himalayen, et par ceux drainant les grands bassins tropicaux (Amérique du Sud, Afrique) et sibériens, est estimée à 35 % (figure 2A). Pourtant, sur les 19 milliards de tonnes d'alluvions sortant chaque année des bassins versants (figure 2B), les deux tiers proviennent de l'Asie du Sud-Est et de l'Océanie, particulièrement du Gange, du Brahmapoutre et du Huáng Hé, qui évacuent à eux seuls 20 % de la charge fluviale (solide et dissoute).

3. Comprendre le fleuve sur le temps long

Les fleuves ont une histoire (Bravard et Magny, 2002). Celle-ci est guidée par la variabilité des facteurs de contrôle locaux (autocyclicité, anthropisation) ou globaux (changement hydroclimatique, eustatisme, tectonique, les deux premières incluant les possibles effets de l'anthropization) lesquels, au final, vont conduire les fleuves dans leur vallée et delta/estuaire à des ajustements géomorphologiques (incision vs. remblaiement ; élargissement vs. contraction du lit) plus ou moins irréversibles (Bravard, 1994). Les fleuves accomplissent parfois une « métamorphose » (*sensu* Schumm, 1969) par effet de substitution durable de style fluvial : par exemple, le passage du tressage (Pléniglacaire supérieur) au style divagant (début du Tardiglacaire) puis au méandrage (Tardiglacaire – Holocène) dans la vallée de la Somme (Antoine *et al.*, 2011 ; figure 3).

Dans la vallée du Rhône, la variabilité pluri-décennale à séculaire des flux d'eau et d'alluvions à l'Holocène aboutit à des crises hydrologiques (changement de régime, dominé par les crues) entrecoupées de phases d'irrégularité ou d'accalmie (Arnaud-Fassetta, 1998). La dernière crise remarquable survenue au cours du Petit Âge Glaciaire (XIV^e – XIX^e s.) résulte d'une exacerbation

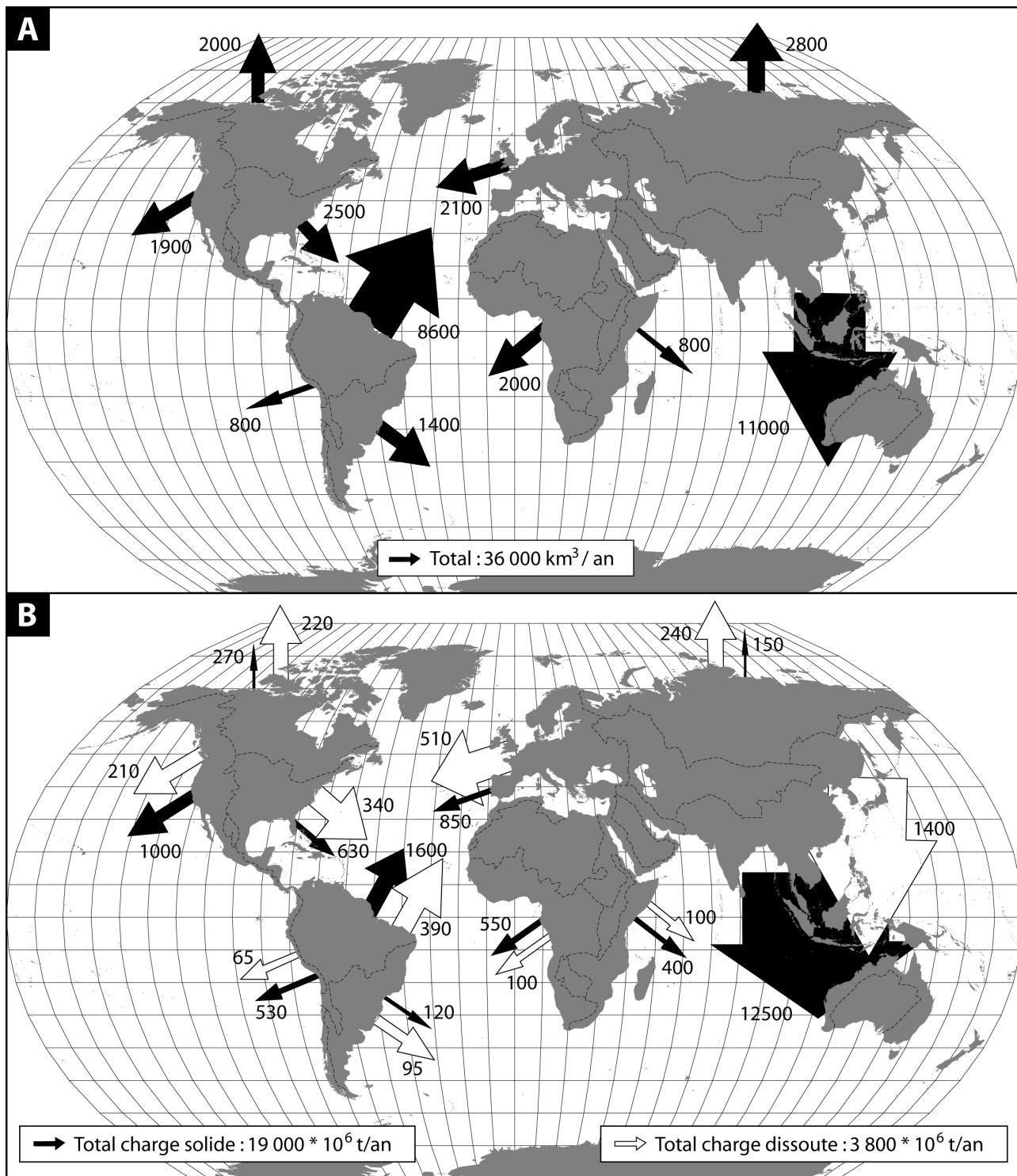


Figure 2. Bilans de dénudation à l'échelle du globe, des continents vers les océans.

A : Apports d'eau douce (fleuves) exprimés en m^3/an ; B : Apports d'alluvions (flèches noires) et de solutés (flèches blanches) exprimés en $106 \text{ t}/\text{an}$ (adapté de Milliman et Farnsworth, 2011, *in* Fort *et al.*, 2015).

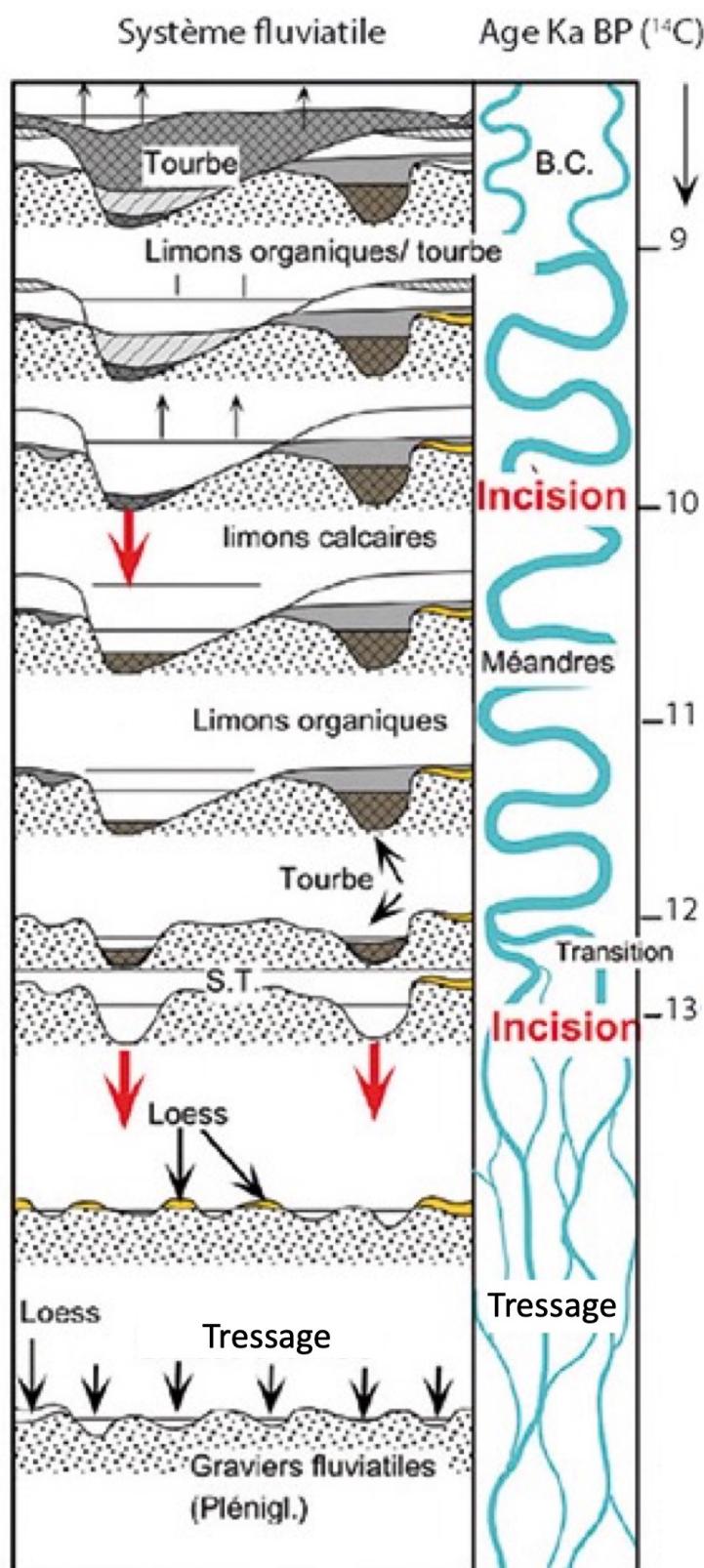


Figure 3. Évolution morphologique du lit de la Somme depuis le Pléniglaciaire
(d'après Antoine *et al.*, 2011).

des effets de l'érosion par les actions anthropiques dans le bassin-versant, sur fond de crise hydroclimatique (augmentation de la fréquence/magnitude des crues dans un contexte de climat plus frais et humide ; Pichard *et al.*, 2017). En Camargue, le Rhône connaît alors une métamorphose au début du XVIII^e s. avec l'apparition du « tressage deltaïque » dans les dernières années de fonctionnement du Bras de Fer.

En remontant le cours du temps (5,96 – 5,33 Ma), la « crise de salinité messinienne », qui aura duré 630.000 ans, est responsable du creusement des canyons de l'Èbre, du Rhône (1300 m), du Pô et du Nil, qui se métamorphosent en rias progressivement remblayées de Gilbert-deltas lors de la transgression zancléenne (Clauzon *et al.*, 1996). Cette crise, qui s'est traduite par l'assèchement progressif suivi du remplissage très brutal du bassin méditerranéen, est consécutive à la fermeture (tectonique) du détroit de Gibraltar puis à l'abaissement (1500 – 2000 m) du plan d'eau marin par évaporation, avant sa reconnexion à l'océan Atlantique.

4. La métamorphose fluviale des Temps Modernes

Si les fleuves des pays du Nord entrèrent dans la modernité en accomplissant de remarquables métamorphoses, la dernière d'entre-elles, d'origine anthropique, ayant eu bien souvent raison de ce qu'il leur restait de capacités d'auto-ajustement. Bien que certains aient commencé à l'être au Moyen Âge (Gautier *et al.*, 2007), la plupart des fleuves des pays industrialisés ont été définitivement endigués dans le courant du XIX^e s., pour limiter l'inondabilité de la plaine et promouvoir sa mise en valeur. Leur style fluvial a été simplifié suite à des opérations de rectification de leur tracé (en long et en travers) lorsque l'on a voulu augmenter leur navigabilité en même temps que leurs berges, solidifiées par des enrochements, étaient rehaussées. La conséquence prévue fut l'approfondissement du lit des fleuves, qui passèrent de plusieurs bras (ou d'un chenal large et peu profond) à un chenal unique et profond. En aval de Lyon, le mouillage garanti à 2 m dans le Rhône passa ainsi de 96 jours en 1876 à 300 jours en 1925, valorisant la pleine réussite des travaux du « Plan Freycinet » et des ingénieurs Jacquet et Girardon (Béthemont et Bravard, 2016).

Parallèlement, dans le courant du XX^e s., de très nombreux barrages ont été construits partout dans le monde pour le contrôle des extrêmes hydrologiques, les besoins de l'hydroélectricité et l'agriculture irriguée, ou tout simplement pour l'alimentation en eau potable. Certains de ces barrages ont rendu les fleuves plus navigables. Aujourd'hui, ils sont au nombre de 800.000 dont 52.000 sont considérés comme de grands barrages (hauteur > 15 m et réservoir > 3 Mm³). Les quatre principaux pays constructeurs de barrage en détiennent les trois quarts : Chine (45 %), États-Unis (14 %), Inde (9 %) et Japon (6 %). Près des deux tiers des 57 grands barrages associés aux centrales les plus puissantes (> 2000 MW) en activité, en construction ou en projet sur les fleuves, sont détenus par cinq pays : Chine (35 %), États-Unis (9 %), Brésil (9%), Russie (7 %) et Canada (5 %). Paradoxalement, les plus grands barrages ont commencé à être construits sur des fleuves relativement modestes pour terminer d'équiper les plus imposants : 1931 (Colorado, 620 m³/s ; Hoover, 2080 MW ; **figure 4**) ; 1933 (Columbia, 7500 m³/s ; Grand Coulee, 6809

MW) ; 1956 (lenisseï, 19.800 m³/s ; Krasnoïarsk, 6000 MW) ; 1975 (Paraná, 19.800 m³/s ; Itaipu, 14.000 MW) ; 2003 (Yangzi, 30.000 m³/s ; Trois Gorges, 22.500 MW ; **figure 5**). Le futur plus grand barrage du monde sera celui construit sur le fleuve Congo (41.500 m³/s) dans le cadre du projet Grand Inga (Pourtier, 2021), qui prévoit de fournir jusqu'à 40 % de l'électricité du continent africain avec une puissance (39.000 MW) quasiment deux fois supérieure à celle du barrage des Trois Gorges.

5. Fleuve et structuration spatiale

Les fleuves sont des linéaires qui aident à la structuration de l'espace. Ils furent très tôt (dès -6500 ans) les lieux privilégiés d'installation des sociétés, en Mésopotamie, en Égypte et dans les grandes plaines deltaïques de l'Inde et de la Chine, avec l'émergence de la culture de céréales adaptées. Ces premières sociétés riveraines maîtrisaient l'hydraulique tout en s'adaptant aux crises hydrologiques du fleuve. Dans le delta du Rhône, 80 % des sites antiques et médiévaux ont été retrouvés sur les anciens bourrelets alluviaux et des créations/abandons de sites ruraux se sont produits indépendamment de l'état hydrographique, hydrologique et hydraulique du fleuve (Arnaud-Fassetta et Landré, 2015). Mais les fleuves ne sont pas à proprement parler une force fédératrice, et bien souvent on constate la difficulté à gérer des pratiques singulières ou des stratégies divergentes des riverains, d'une rive à l'autre, d'amont en aval, du bassin-versant à l'écorégion, d'un continent à l'autre.

Les fleuves se posent comme limites territoriales. Ils peuvent faire office de frontière administrative entre deux États, comme dans le cas du fleuve Congo, qui constitue majoritairement la frontière entre la République démocratique du Congo et la République du Congo, ou du Rhin supérieur entre la France et l'Allemagne. Ces « fleuves frontières » ont été le siège de conflits entre États limitrophes ou disputés pour eux-mêmes, à l'image du fleuve Amour dont une grande partie du cours marque la frontière entre l'Extrême-Orient russe et la Chine depuis la signature du traité de Pékin (1860). On peut faire également référence aux bras deltaïques du Danube qui furent très disputés au fil de l'histoire récente (Boulleau, 2008), ayant appartenu successivement à l'Empire ottoman (XV^e s.), l'Empire russe (1829), la Moldavie/Empire ottoman (1856), la Russie/Roumanie (1878), la Roumanie (1918), l'URSS/Roumanie (1940) et l'Ukraine/Roumanie (1991).

Les fleuves constituent des obstacles naturels, rendus progressivement franchissables par l'action humaine. La difficulté à passer d'une rive à l'autre est rappelée par le guerrier carthaginois Hannibal (via Tite-Live) qui, arrivant d'Espagne en 218 av. J.-C., dû traverser le bas Rhône avec son armée (environ 50.000 fantassins, 10.000 cavaliers et 37 éléphants) pour combattre l'ennemi gaulois sur la rive opposée. Par la suite, le problème de la traversée des fleuves fut atténué par l'édification de ponts dont certains, bien calibrés face aux crues extrêmes et non complètement détruits par les guerres, sont toujours en place depuis l'antiquité, comme le *Ponte Sant'Angelo* (Rome) sur le Tibre ou le *Puente Trajan* (Alcántara) sur le Tage. Aujourd'hui, les fleuves sont enjambés par de remarquables ponts modernes, tels le *Brooklyn Bridge* (New York), le *Yángluó Chángjiāng dàqiáo* (Wuhan), le *Ponte 25 de Abril* (Lisbonne)...

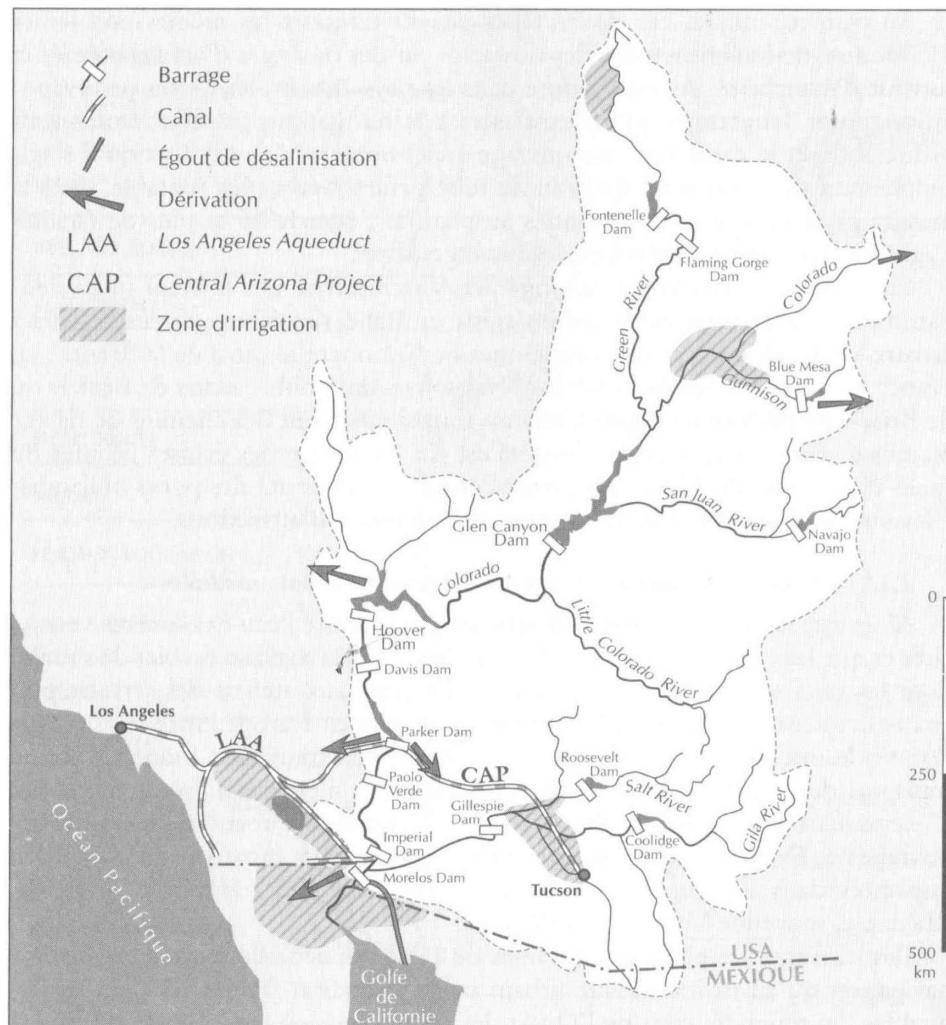


Figure 4. L'aménagement hydraulique du bassin-versant du Colorado
(d'après Bethemont, 1999).



Figure 5. Le barrage des Trois-Gorges sur le Yangzi (photo : Geoengineer.org).

Mis en service par étapes entre 2003 et 2012, il forme une retenue d'eau de 600 km de long. En 2020, le barrage et sa centrale ont produit 111,795 millions de MW/h, soit l'équivalent du tiers de la production d'électricité du parc nucléaire français sur la même année. Les impacts de cet ouvrage hydroélectrique, la plus grande du monde, suscitent une vaste polémique environnementale et géopolitique.

Ils apparaissent aussi comme les seules voies de circulation possible là où il n'est pas pratique d'aller sur la terre ferme (Amazonie).

6. Le fleuve dans l'espace urbain

Les bords de fleuve ont été de possibles sites d'implantation des grandes villes et métropoles dans le monde, pour deux raisons essentielles qui tiennent aux besoins en eau (consommation, ressource halieutique, exploitation, usages, évacuation des déchets, ceinture de protection hydraulique...) et aux effets de site (configuration du bassin). Aujourd'hui, on observe aussi et surtout un intérêt porté à la vallée comme axe de circulation des capitaux et des marchandises, ces dernières par la route, le fer et les voies d'eau, qui dépasse la seule implication du fleuve.

La typologie des sites urbains installés le long des fleuves, proposée par J. Bethemont (1999), explicite les localisations les plus courantes (**figure 6**) : villes proches d'une ressource minière (Duisburg) ; villes d'estuaire (Shanghai) ; villes de delta (Le Caire) ; villes de confluence (Manaus) ; villes de passage facile sur un fleuve difficile (Budapest) ; villes sur rupture de pente et de charge (Montréal) ; villes de méandre facilitant le passage entre bassins (Volgograd) ; villes ouvrant le système de communication à un autre (Chicago). Le fleuve peut devenir un élément structurant de l'organisation de l'espace urbain, à l'image de la ville de Lyon (**figure 7**).

L'étude des fleuves aide à comprendre le (dys)fonctionnement de leur vallée et caractériser différents types d'espace. À partir de plusieurs critères (taille du bassin et abondance des eaux ; nature du milieu physique ; densité de peuplement ; richesse et pauvreté ; histoire et culture ; choix de société), J. Bethemont (1999) définit cinq grands types de fleuves : fleuve vide (Amazone) ou barré (Congo) ; fleuve actif et dévalué (Mississippi) ; fleuve structurant (Saint-Laurent) ; front pionnier (Sibérie) ; fleuves européens, entre dysfonctionnement (Danube) et région cohérente en tant que carrefour continental, monde cultureléconomique et couloir de circulation (Rhin). On pourrait y ajouter le cas du fleuve Yangzi qui illustre moins une région ou un front pionnier qu'une « linéarité » est-ouest à forte segmentation provinciale, transverse au littoral et aux logiques économiques chinoises mais pourtant bien voulue par l'État (Sanjuan, 2004).

7. Économie et métiers du fleuve

Les fleuves sont au cœur de nombreuses activités économiques. Les fleuves ont permis de fabriquer des métiers, faisant émerger et vivre de façon directe (mariniers, bateliers...) ou indirecte (cordiers, charpentiers, voiliers, « compagnons de rivière », fermiers-passeurs, éclusiers, meuniers, charretiers, débardeurs, blanchisseuses...) une communauté (les « gens des fleuves ») bigarrée, tout autant complémentaire que conflictuelle, et attachée à l'exploitation des voies et ressources fluviales (Fau *et al.*, 2007 ; **figure 8**). La chenalisation, la mécanisation, l'industrialisation et la réorganisation mondialisée des voies fluviales ont eu raison de beaucoup de ces métiers ancestraux dépendants des fleuves mais en firent émerger aussi de nouveaux (veille scientifique,

croisière...). Certains de ces anciens métiers des « gens du bord de l'eau » conduisent aujourd'hui, aussi bien sur le Rhône, le Danube, l'Amazonie que sur les fleuves chinois ou indiens, certains groupes à la marginalisation (Bethemont, 1999)

Du milieu du XX^e s. à aujourd'hui, les fleuves ont toutefois permis le développement de nombreuses activités. Ils permettent évidemment des activités de pêche (civelles, esturgeons...) et de pisciculture. Au-delà de la stricte vallée, devant les embouchures fluviales, eau douce et alluvions se combinent aux eaux salées pour attirer le poisson (sardines, poissons plats...) sur de très bonnes zones de pêche dont la pérennité dépend des pratiques de prélèvement. En revanche, malgré des avantages certains (rentabilité), le transport par voie fluviale décline en raison de nombreuses contraintes (site, délai, organisation, mauvaise adaptation au transport de marchandises légères). Des bois flottés transitent toujours au fil de l'eau, surtout sur les fleuves asiatiques (bamboo). Le recours aux pompages plus ou moins profonds de l'eau pour l'irrigation a montré ses limites tout au long du XX^e s., de sorte que les grands fleuves sont aujourd'hui identifiés comme l'alternative de choix pour les systèmes d'irrigation dans l'Asie des moussons bien arrosée (Yangzi, Huáng Hé, Gange, Brahmapoutre), les diagonales arides (Indus, Amou-Daria, Syr-Daria, Tigre, Euphrate, Nil, Sénégal, Niger, São Francisco) et les pays riches ou émergents (Mississippi, Columbia, Volga, Danube, Paraná). Certaines vallées fluviales (Loire, Rhône, Garonne/Gironde...) sont éminemment connues pour leurs excellents terroirs viticoles et vins mondialement réputés.

L'industrie se développe souvent au bord des fleuves. Historiquement (XVIII^e – XIX^e s.) dans les pays industrialisés, les usines se sont implantées sur les bords des voies navigables (villes portuaires) car c'est par là qu'arrivaient les matières premières (Ruhr/Rhin). Dans les pays faiblement industrialisés, la ville fluviale est plutôt connexe des mines d'exploitation. Les pays industrialisés ont connu, eux, de fortes mutations dès le début du XX^e s. avec le déclin des sites industriels des hautes vallées. La production électrique va se relocaliser dans les grandes vallées fluviales, d'abord au Canada (Saint-Laurent) et aux États-Unis (Mississippi) puis en Europe (Rhône, Danube). Dans le même temps, l'hydroélectricité aura été motrice de l'industrialisation soviétique dans de nombreuses vallées (Dniepr, Volga, Ienisseï). À partir des années 1950, l'apparition de l'énergie nucléaire fit progressivement naître des sites fluviaux à haut risque technologique. Aujourd'hui, certains fleuves apparaissent comme structurant de grandes régions économiques, dépassant le cadre de leur bassin-versant, tel l'espace Rhénan, alors que d'autres deviennent comme des traits d'union entre deux espaces économiques, à l'image de la vallée du Rhône en Europe.

Les fleuves sont aussi le support d'une activité touristique variée, invitant à la fois à la visite de sites fluviaux historiques et à la création de stations résolument tournées vers le fleuve. Le tourisme fluvial favorise navigation de plaisance, croisières, promenades en bateau, nautisme de proximité, ski nautique, natation, pêche, plongée, randonnée pédestre ou à vélo et camping.

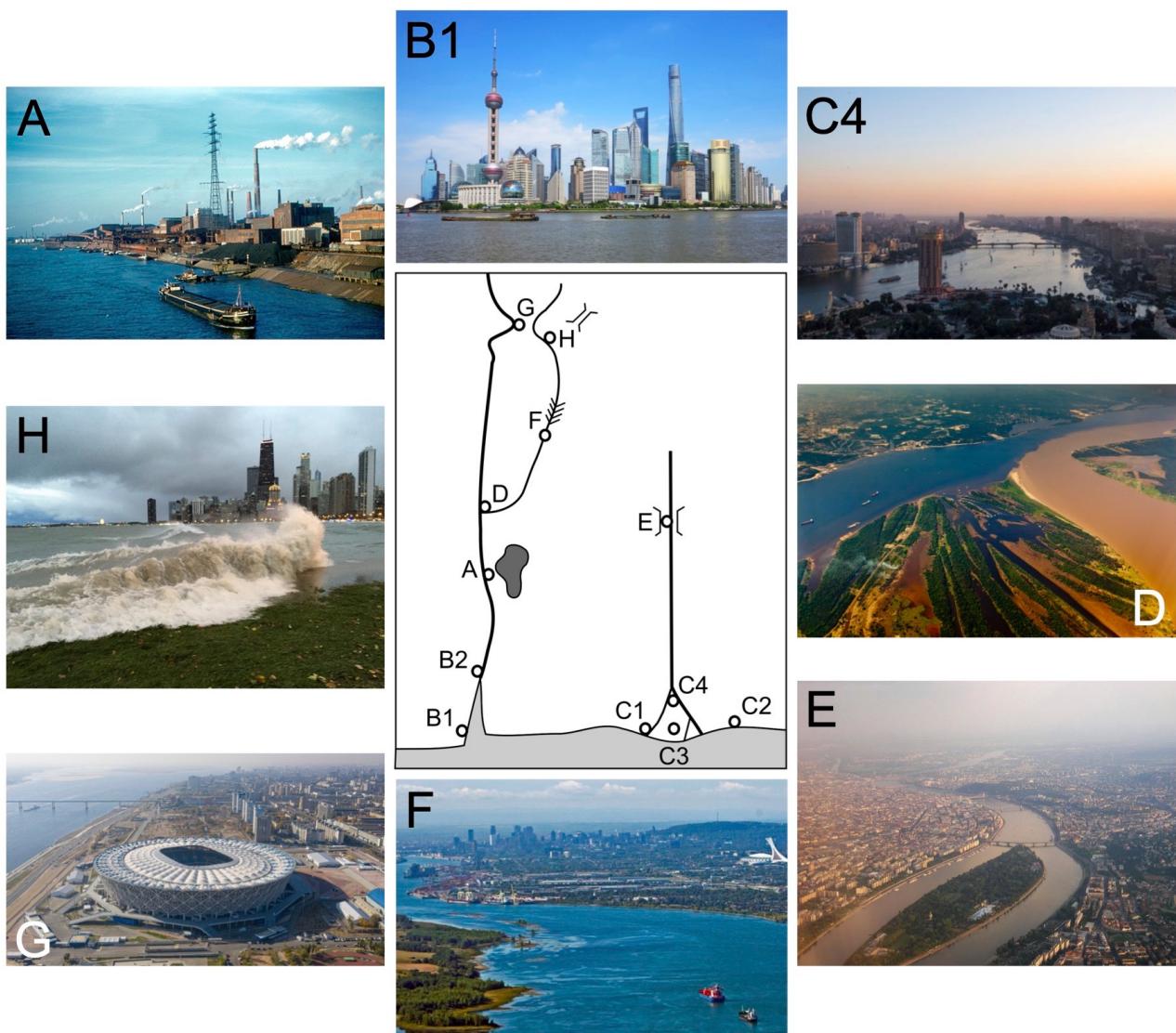


Figure 6. Typologie des sites urbains fluviaux (adapté de Bethemont, 1999).

- A. Duisburg sur le Rhin, 1960 (<https://www.flickr.com/photos/24736216@N07/3007898595>).
- B. Shanghai sur le Yangzi, 2015 (<https://www.pxfuel.com/en/free-photo-ovoizr>).
- C. Le Caire sur le Nil, 2019 (photo : Xinhua/VNA/CVN).
- D. Manaus sur la confluence Rio Solimões/Rio Negro, 2011, en aval de laquelle le fleuve prend le nom d'Amazone (photo : Portal da Copa).
- E. Budapest sur le Danube, 2005 (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Budapest>).
- F. Montréal sur le Saint-Laurent, 2016 (photo : Ivanoh Demers, archives La Presse).
- G. Volgograd sur la Volga, 2018 (<http://www.arne-mueseler.com>).
- H. Chicago entre les Grands Lacs et le bassin du Mississippi, 2014 (<https://www.flickr.com/photos/43788330@N05/16807304806>).

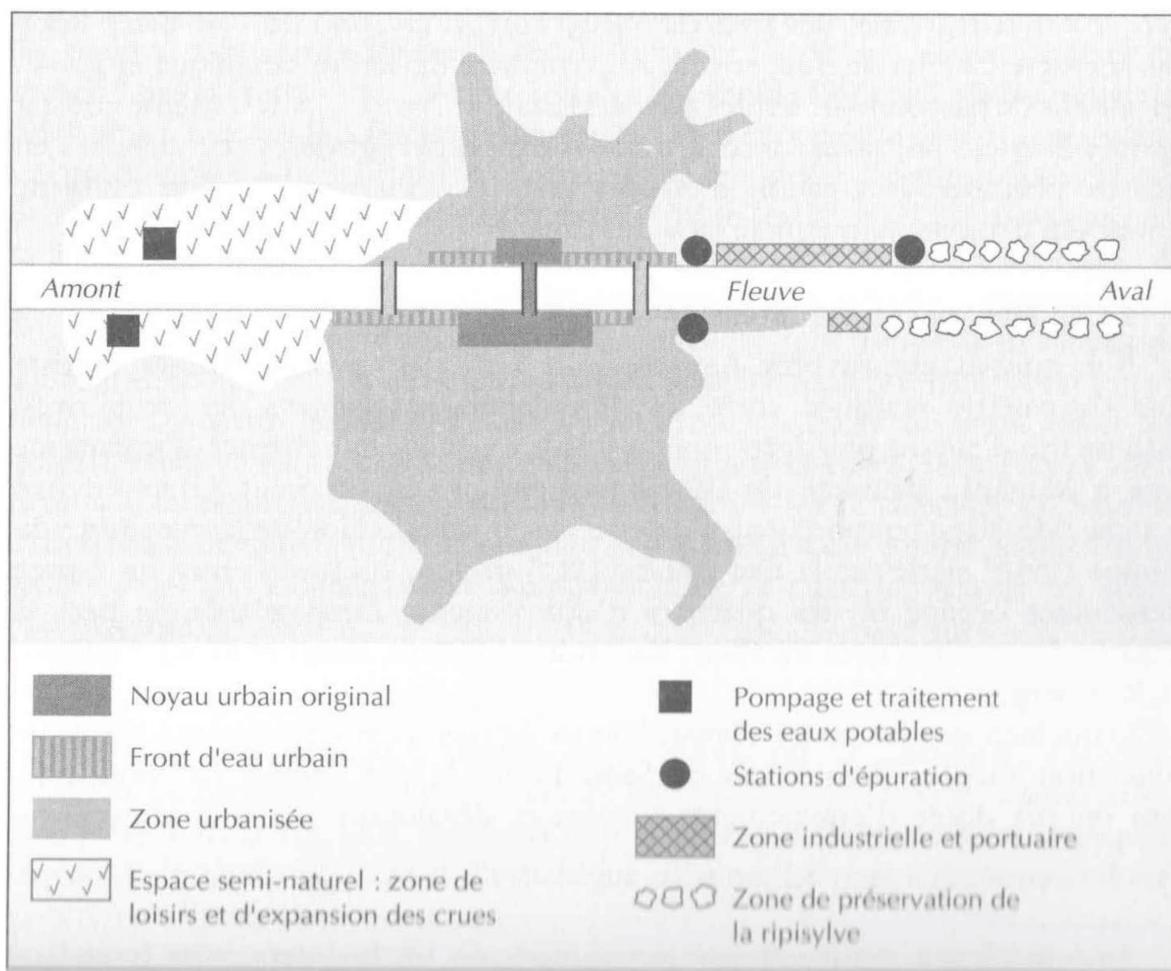


Figure 7. Structuration de l'espace urbain le long du Rhône à Lyon
(d'après Bethemont, 1999).



Figure 8. Les métiers des fleuves. Le Port au Blé et le Pont Notre-Dame, Seine, Paris
(L.N. de Lespinasse, 1782 ; Musée Carnavalet, Paris, France).

Ils sont devenus des lieux récréatifs (pêche de plaisir, pêche sportive, spectacles, art culinaire) et culturels (musée des Confluences à Lyon, festival d'Avignon), tout en restant encore des lieux cultuels (fleuves sacrés de l'Inde). Les bords de fleuve sont également un art de vivre, à l'image des guinguettes sur la Garonne/Gironde, la Loire et le Rhône en Camargue. Le fleuve permet par ailleurs d'entretenir l'identité communautaire (indiens d'Amazonie).

8. Le fleuve, lieu de pratiques, source de conflits et territoire à risques

Si les bords de fleuve se laissent assez facilement apprécier quand la beauté des eaux courantes associée à celles des formes parvient à toucher l'observateur, par le paysage ou un phénomène singulier, tel le mascaret dans la Gironde ou la débâcle de la Léna, s'ils ont été immortalisés par des artistes peintres tels que Monet, dont le talent n'a d'égal que sa qualité à observer et à décrire les différents états du fleuve (**figure 9**), les fleuves sont aussi des lieux de conflits entre différents usages. Les sociétés considèrent d'abord les fleuves comme une ressource en eau (ville, campagne) et en matériaux (extraction de sables et granulats, bois). Mais cette ressource est d'une part épuisable, et elle peut d'autre part constituer des conflits d'usage, qui naissent bien souvent de sa mauvaise répartition ou utilisation. Le cas de l'Inde illustre bien le problème : les pluies et les crues fluviales sont concentrées sur quelques mois pendant la mousson. Pour les longs mois qui suivent, la gestion de la pénurie d'eau devient un problème écologique, économique et social majeur. Car c'est bien 200 millions d'Indiens qui n'ont pas accès à une source d'eau potable et 2 millions (surtout des enfants) qui meurent chaque année de maladies causées par l'eau. La Banque Asiatique de Développement estime à 50 % le déficit de la ressource en eau en Inde d'ici 2030. Des conflits géopolitiques autour du partage difficile des eaux de fleuves très souvent transfrontaliers ont prospéré un peu partout dans le monde (Nil, Niger, Jourdain, Tigre, Euphrate, Brahmapoutre... ; Raison et Magrin, 2009). D'autres risquent de s'ouvrir à tout moment, alors que des formes nouvelles d'hydro-piraterie se régénèrent régulièrement, à l'image de ces millions de mètres cube d'eau de l'Amazonie embarqués dans les cuves de « supertankers » à destination du Moyen-Orient déficitaire en eau, car le coût de dessalaison de l'eau de mer reviendrait plus cher que celui d'un transport par bateau depuis le Brésil.

Les fleuves représentent aussi une zone de risque pour les populations riveraines ou qui en dépendent, ou qui l'utilisent. Les formes du risque fluvial sont multiples : risque de pollution diffuse à l'échelle du bassin-versant, liée aux excès locaux des villes, de l'agriculture et de l'industrie ; risque d'inondation (aléa crue) et/ou technologique (rupture de barrage, accident de centrale nucléaire) ; risque de pénurie hydrique (mer d'Aral) ; risque sanitaire (maladies liées à l'eau, son biotope et son environnement). La prise en considération de ces dangers liés au fleuve passe par l'élaboration d'un plan de prévention des risques.

9. Fleuve et développement durable

Les fleuves sont des milieux sensibles à préserver. Ils ont été fortement impactés par les « grands travaux »

(chenalisation, endiguement, barrages, extraction de granulats, centrales électriques), ayant entraîné de nombreuses conséquences : incision du chenal, augmentation de la pente hydraulique et des forces érosives, altération des régimes hydrologiques, ennoiement de milliers d'hectares et, par voie de conséquences, déstabilisation des ouvrages d'art et des structures hydrauliques, abaissement des aquifères alluviaux, réchauffement des eaux, sécheresse hydrologique, interruption de la connectivité hydro-sédimentaire amontaval et latérale, mise à mal de la continuité écologique, atteinte de la biodiversité, érosion des franges deltaïques, risque hydro-technologique, sans compter les pollutions liées aux rejets agricoles, urbains et industriels (pétrochimie, nucléaire), qui affectent les eaux et les sédiments, en plus des impacts physiologiques et socio-économiques induits par le réagencement du milieu fluvial à l'échelle du bassin-versant. Le maintien de la biodiversité passera par le développement des réserves protectrices tout autant que par les changements de comportement sociétal, économique et politique vis-à-vis de l'environnement. L'avenir des fleuves s'envisage à travers une bonne gouvernance entre eaux urbaines et eaux du bassin-versant dans une perspective de développement durable et de changements globaux. De fait, la problématique du changement climatique replace les grands fleuves au premier plan de la dialectique ressource en eau/développement durable. L'Asie est particulièrement concernée, tout comme les autres continents. La disparition annoncée de deux tiers des glaciers (cas où le réchauffement planétaire dépasserait 1,5°C) compromet le régime et le bilan hydrologique, ce qui va raréfier la ressource en eau pour près de 1,65 milliard d'êtres humains vivant dans les bassins versants de grands fleuves du « système himalayen » que sont le Yangtzi, le Brahmapoutre, le Mékong, l'Indus et le Brahmapoutre. On peut y associer le Syr-Daria et l'Amou-Daria pour ce qui constitue au final le « château d'eau » du continent asiatique (Immerzeel *et al.*, 2020). L'insuffisance de l'eau, déjà marquée dans certains pays, dont l'Inde et la Chine, sa raréfaction en raison du changement climatique, et le fait que la majorité de la population soit concentrée dans des villes et sur les rives des fleuves, laissent craindre une désastreuse « guerre de l'eau ». Les fleuves tropicaux sont encore très mal connus, et c'est sur eux que doivent se porter les efforts de la recherche scientifique.



Figure 9. Les radeaux de glace sur la Seine à Bougival
(C. Monet, 1868).

Bibliographie

Antoine P., Bahain J.-J., Auguste P., Fagnart J.-P., Limondin-Lozouet N., Locht, J.-L., 2011. Quaternaire et Préhistoire dans la vallée de la Somme : 150 ans d'histoire commune. In Hurel A., Coye N. (éd.) *Dans l'épaisseur du temps. Archéologues et géologues inventent la Préhistoire*. Publications scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 341-381.

Arnaud-Fassetta G., 1998. *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*. Thèse de géographie physique, université de Provence (Aix-Marseille 1), 329 p.

Arnaud-Fassetta G., Landré C., 2015. Fluvial risk in rural areas from the Greek period to the early Middle Ages: The case of the Rhône delta (France). In Arnaud-Fassetta G., Carcaud N. (Eds.) *French Geoarchaeology in the 21st Century*. CNRS Éditions, Paris, 213-234.

Bethemont J., 1999. *Les grands fleuves. Entre nature et société*. Armand Colin, Paris, 255 p.

Bethemont J., Bravard J.-P., 2016. *Pour saluer le Rhône*. Libel, Lyon, 400 p.

Boulineau E., 2008. *Le Danube dans les Balkans. Balkanologie. Revue d'études pluridisciplinaires*, X, 1-2, en ligne.

Bravard J.-P., 1994. L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Géocarrefour*, 69, 1, 5-10.

Bravard J.-P., Petit F., 1997. *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Paris, 222 p.

Bravard J.-P., Magny M., 2002. *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15000 ans*. Édition Errance, Paris, 312 p.

Carcaud N., Arnaud-Fassetta G., Évain C., 2019. *Villes et rivières de France*. CNRS Éditions, Paris, 295 p.

Clauzon G., Suc J.-P., Gautier F., Berger A., Loutre M.-F., 1996. Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: Controversy resolved? *Geology*, 24, 4, 363-366.

Fau A., Chatry D., Boucard D., Vassal V., Derouard J.-P., Delsalle P., Beaucarnot J.-L., Hovasse H., 2007. Métiers des fleuves et des rivières. *Nos Ancêtres. Vie et Métiers*, 26, 25-86.

Fort M., Bétard F., Arnaud-Fassetta G., 2015. *Géomorphologie dynamique et environnement. Processus et relais dans les bassins versants*. Armand Colin, Paris, 336 p.

Gautier E., Burnouf J., Carcaud N., Chambaud F., Garcin M., 2007. Les interrelations entre les sociétés et le fleuve Loire depuis le Moyen Âge. In Trémolières M., Schnitzler A. (éd.) *Protéger, restaurer et gérer les zones alluviales, pourquoi et comment. Tec Doc*, 83-97.

Immerzeel W.W., Lutz A.F., Andrade M., Bahl A., Biemans H., Bolch T., Hyde S., Brumby S., Davies B.J., Elmore A.C., Emmer A., Feng M., Fernández A., Haritashya U., Kargel J.S., Koppen M., Kraaijenbrink P.D.A., Kulkarni A.V., Mayewski P.A., Nepal S., Pacheco P., Painter T.H., Pellicciotti F., Rajaram H., Rupper S., Sinisalo A., Shrestha A. B., Viviroli D., Wada Y., Xiao C., Yao T., Baillie J.E.M., 2020. Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577, 364-369.

Milliman J.D., Farnsworth K.L., 2011. *River discharge to the coastal ocean: A global synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, 393 p.

Pichard G., Arnaud-Fassetta G., Moron V., Roucaute É., 2017. Hydrology-climatology of the Lower Rhône Valley: Historical flood reconstruction (AD 1300-2000) based on documentary and instrumental sources. *Hydrological Sciences Journal*, 24 p., online.

Piégay H., Gregory S.V., 2005. Riparian wood in rivers: Issues and challenges. In Naiman R.J., Décamps H., McClain M.E. (Eds.) *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press, London, 240.

Pourtier R., 2021. *Congo. Un fleuve à la puissance contrariée*. CNRS Éditions, Paris, 272 p.

Raison J.-P., Magrin M., 2009. *Des fleuves entre conflits et compromis. Essais d'hydropolitique africaine*. Karthala, Paris, 300 p.

Sanjuan T., 2004. L'invention du Yangzi. Linéarité fluviale, segmentation provinciale et métropolisation littorale. In Bravard J.-P., Sanjuan T. (éd.) *Le Yangzi et le Rhône*. Géocarrefour, 79, 1, 5-12.

Schumm S.A., 1969. River metamorphosis. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division*, 6352, HY 1, 255-273.

Strahler A., 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 923-938.

Pour citer cet article :

Arnaud-Fassetta G., 2021. Qu'est-ce qu'un fleuve ?
Université de Paris, UMR 8586 PRODIG, Paris, 12 p.
(mis en ligne le 5 mai 2021). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03538473>

L'auteur remercie M. Fort et P. Cadène pour leur relecture attentive et constructive du texte.