

Séance du 4 avril 2025

Le Rhône, acteur essentiel, mais fragile, pour lutter contre les émissions de CO₂ et le réchauffement climatique

Jean-Marc BEYNET

membre correspondant

Avec le réchauffement climatique, la mer monte. Mais pour certains grands fleuves, c'est pire. En effet, ils subissent une double peine :

- risques de submersion des deltas, comme en Camargue par exemple ;
- réchauffement de l'eau du fleuve, surtout lorsque des centrales nucléaires ont été implantées sur les rives depuis plusieurs décennies, comme c'est le cas pour le Rhône en particulier.

Et pourtant, les fleuves navigables sont des acteurs essentiels pour lutter contre la pollution et réduire les émissions de CO₂. Par exemple, une tonne de marchandise transportée par voie fluviale émet en moyenne quatre fois moins de CO₂ que le transport routier.

Par ailleurs, lorsqu'ils sont équipés de barrages et turbines, les fleuves sont des producteurs d'énergie hydroélectrique, donc renouvelable, dégageant 100 fois moins de CO₂ dans l'atmosphère que les centrales à charbon, par kWh produit.

Enfin, les fleuves contribuent également à abaisser sensiblement les températures de l'air dans les villes qu'ils traversent.

Dans la suite, nous allons détailler ces sujets en décrivant le Rhône, tel qu'il était jusqu'au XIX^e siècle, puis en présentant ensuite les aménagements réalisés par la Compagnie Nationale du Rhône au XX^e siècle pour produire de l'énergie hydroélectrique et améliorer aussi les conditions de navigation. Enfin, nous expliquerons les problèmes actuels et futurs aux XXI^e et XXII^e siècles en raison du réchauffement de l'eau du fleuve et du risque de submersion marine de la Camargue dans le delta du Rhône.

Les principaux fleuves de France métropolitaine et leur dynamique fluviale

Un fleuve est un cours d'eau qui se jette dans la mer par un delta ou un estuaire selon les cas:

- delta si le fleuve a un débit important et débouche dans une mer sans marée ou presque. L'action du fleuve l'emporte sur celle de la mer ;
- estuaire si le débit du fleuve est faible et s'il débouche dans une mer ou océan avec marées significatives. La mer est plus forte que le fleuve.

En France métropolitaine, on compte 5 fleuves principaux: la Seine, la Loire, la Garonne, le Rhône et le Rhin :

- **La Seine**, qui après Paris et Rouen, débouche dans la Manche, au Havre;
- **La Loire**, fleuve le plus long de France, prend sa source en Ardèche et se jette dans l'océan Atlantique, près de Nantes;
- **La Garonne** dont la source est située dans les Pyrénées en Espagne, se jette dans l'océan Atlantique peu après Bordeaux, dans l'estuaire de la Gironde;
- **Le Rhône**, le fleuve le plus puissant, prend sa source en Suisse, traverse le lac Léman, puis la ville de Lyon pour finir sa course par un delta (Camargue), en Méditerranée;
- **Le Rhin** se jette dans la mer du Nord après avoir traversé plusieurs pays. Il est plus long que la Loire mais sa plus grande partie ne se situe pas en France. Il sert de frontière naturelle entre la France et l'Allemagne (et aussi entre la Suisse et l'Allemagne ainsi qu'entre la Suisse et l'Autriche).

Les caractéristiques principales de ces fleuves sont résumées dans le tableau ci-après :

	Source	Altitude	Longueur	Bassin versant	Débit moyen	Débouché maritime
Seine	Plateau de Langres	471 m	776 km	78 000 km ²	375 m ³ /s	Manche
Loire	Mont Gerbier de Jonc	1408 m	1012 km	115 000 km ²	875 m ³ /s	Atlantique
Garonne	Pyrénées	1860 m	529 km	55 000 km ²	650 m ³ /s	Atlantique
Rhône	Glacier du Saint-Gothard en Suisse	2300 m	812 km	98 000 km ²	1760 m ³ /s	Méditerranée
Rhin		2341 m	1320 km	252 000 km ²	2200 m ³ /s	Mer du Nord

Fig.1 : Tableau des caractéristiques des cinq principaux fleuves de France métropolitaine

La dynamique fluviale a très bien été résumée par Charles Lenthéric¹ à la fin du XIX^e siècle :

Tous les fleuves ont une pente variable, mais continue, depuis leur source jusqu'à la mer. [...]. Le fleuve est à pentes rapides dans la partie supérieure de son cours, alors que, au contraire, dans la partie inférieure, le fleuve a une pente très douce, qui diminue d'une manière progressive jusqu'à la mer. [...]. A l'amont, le courant rapide affouille le terrain et à l'aval, ces mêmes eaux suivent une pente plus faible, le courant est lent et le fleuve dépose les sédiments de l'affouillement amont. [...]. Entre ces deux régimes extrêmes, il y a une partie du fleuve où les eaux ne sont plus torrentielles, mais pas encore stagnantes, c'est le tronçon du profil d'équilibre où le fleuve n'érode plus et ne sédimente pas encore des matériaux. [...]

Le phénomène est toujours le même. Affouiller d'abord, charrier ensuite, atterrir enfin, telles sont les propriétés fondamentales, les trois étapes des torrents comme des fleuves et même des moindres cours d'eau.

Tous obéissent aux mêmes lois et présentent, depuis leur source jusqu'à leur embouchure, trois zones très nettement définies: la première est la « zone d'érosion »; la seconde a été appelée « zone de compensation » et la troisième est la « zone de dépôt. (Lenthéric, 1892).

Etat du Rhône jusqu'à la fin du XIX^e siècle

Résumons tout d'abord le contexte géologique de la vallée du Rhône. Ce sera aussi l'occasion d'évoquer rapidement les vignobles² !

La formation des Alpes s'est terminée au Pliocène, il y a 3 millions d'années. La mer se retire et de nombreux lacs se forment, puis se remplissent progressivement. Le Rhône et ses affluents charrieront alors des masses considérables de matériaux détritiques, qui formeront de hautes terrasses dans la région de Châteauneuf-du-Pape sur la rive gauche du fleuve et de Lirac, sur la rive droite.

Au Quaternaire, au cours des deux derniers millions d'années, la tectonique alpine s'est réduite. Les Alpes, les Pyrénées, les Vosges et le Massif Central sont recouverts de glaciers au cours des différentes périodes glaciaires. Au Villafranchien (-1,8 million d'années à -0,7 million d'années), les rivières charrient à nouveau d'importants volumes de matériaux (galets, graviers, sables arrachés aux reliefs), que l'on retrouve jusqu'aux portes de Montpellier, sous forme de nappes de galets principalement alpins. Les périodes glaciaires formeront alors de grandes terrasses étendues, riches en graviers grossiers, qui s'étagèrent à différentes altitudes. Sur la rive gauche du Rhône, on retrouve ces colluvions au pied du massif des Dentelles de Montmirail, Gigondas, Vacqueyras, Rasteau et Cairanne ainsi que les alluvions quaternaires du Rhône à Châteauneuf-du-Pape, Tavel et Lirac.

Rappelons ensuite que les premiers aménagements sur le Rhône ont commencé dès l'Antiquité. Les Romains ont creusé le canal de Marius car ils souhaitent apporter des ressources (blé en particulier) en Arles, avec des bateaux venant principalement de Rome,

¹ Charles Lenthéric (1837-1914) ingénieur de l'Ecole Polytechnique, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, membre de l'Académie de Nîmes (1868-1898) a publié plusieurs ouvrages à la fin du XIX^e siècle, dont en particulier, le titre suivant édité chez Plon en 1892 : *Du Saint-Gothard à la Camargue, le Rhône, histoire d'un fleuve*.

² Pour plus de détails, visiter le site internet : <https://www.vinsvignesvignerons.com/Geologie/Geologie-de-la-France/La-Vallee-du-Rhone>

depuis le port d'Ostie. Ensuite ils voulaient remonter le Rhône jusqu'à Vienne et Lyon, et même plus au nord pour ravitailler les camps militaires de Germanie et de Bretagne (l'actuelle Angleterre). Et le delta du fleuve n'était pas sûr, car mouvant. Pour contourner cette difficulté, Marius fit creuser un canal depuis Fos, jusqu'à des étangs qui existaient près de la ville d'Arles.

D'autres grands travaux ont été poursuivis au Moyen-âge par les Frères Pontifes ou Frères des Ponts, moines bâtisseurs qui ont construit le Pont-Saint-Esprit, puis le Pont d'Avignon.

Citons également les travaux de l'architecte Perrache qui a déplacé plus à l'aval la confluence du Rhône et de la Saône à Lyon, en remblayant des zones marécageuses. À l'époque romaine, la confluence se trouvait sur l'emplacement de l'actuelle Place des Terreaux, au pied de la colline de la Croix-Rousse. C'est donc le Rhône (et non pas la Saône comme à présent) qui coulait au pied de la colline de Fourvière. Puis, par remblaiements successifs, la « presqu'île » entre Rhône et Saône a été prolongée vers le Sud pour gagner du foncier, jusqu'à Ainay d'abord, puis jusqu'au quartier Perrache à la fin du XVIII^e siècle. En définitive, depuis l'Antiquité, la confluence du Rhône avec la Saône a été déplacée de 4 km vers l'aval.

Évoquons aussi les endiguements insubmersibles construits par les riverains. Ils restent cependant peu nombreux jusque vers 1840. Puis, à la suite des graves inondations de 1840, le « Service spécial du Rhône » est créé. À cette date débute la construction systématique de digues dans la plaine d'inondation. Après une autre crue importante survenue en 1856, de nombreux aménagements sont entrepris (digues, barrages).

En parallèle, un principe d'aménagement du chenal est adopté pour améliorer les conditions de navigation selon un tracé sinusoïdal à grand rayon de courbure. Des digues submersibles sont construites le long des rives concaves. Le barrage systématique des bras secondaires est engagé. Parfois, le double objectif de protection des terres et de fixation du chenal navigable conduit à des digues insubmersibles, comme à Pierre-Bénite. La loi de 1878 déclare d'utilité publique « les travaux d'amélioration du Rhône entre Lyon et la mer ». Les aménagements connaissent alors une expansion rapide. En 1884, l'ingénieur Girardon révolutionne les conceptions de l'aménagement à courant libre. L'objectif est de tendre vers un chenal de 150 m de large en général, avec une profondeur d'eau de 1,60 m sous l'étiage conventionnel.

Donnons ensuite à nouveau la parole à Charles Lenthéric, ingénieur, auteur visionnaire (Beynet, 2024) pour décrire l'état du Rhône tel qu'il était à la fin du XIX^e siècle :

Le fleuve ne présente pas des conditions parfaites de navigabilité. Un grand torrent, quelque régulier qu'il soit, sera toujours inférieur comme voie de transport à une rivière canalisée, et surtout à un canal latéral établi sur des grandes proportions, présentant un tirant d'eau constant, sans courant sensible, et pouvant offrir à la batellerie les mêmes avantages à la remonte qu'à la descente. Tout est encore à faire sur le Rhône...

... Il est évident que le Rhône, dont la navigation présente, même après les travaux de régularisation, des difficultés sérieuses, constitue, par le fait même de la vitesse et de la masse de ses eaux, une force motrice immense, et porte en lui le germe d'une richesse industrielle et agricole incomparable. Or, cette force et cette richesse passent tous les jours à notre portée, sous nos yeux, et sont presque entièrement perdues...

... On peut considérer que le Rhône, avec son débit d'étiage de 300 mètres cubes à la seconde, et son altitude de 375 mètres de Genève à la mer, représente près d'un million et demi de chevaux de force absolument sans emploi. On conçoit très bien, d'autre part, que la force motrice que l'on serait en état d'utiliser à toutes les chutes des écluses échelonnées sur un canal latéral au fleuve soit par des transmissions électriques, soit par des câbles

téléodynamiques, pourrait transformer complètement le mode de traction de cette voie navigable. La force que l'on demande aujourd'hui au charbon que l'on achète, on la prendrait simplement à l'eau qui ne coûte rien. (Lenthéric, 1892).

Et les idées, ainsi que les propositions exprimées par Charles Lenthéric à la fin du XIX^e siècle, ont été mises en œuvre quelques décennies plus tard par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR).

Aménagements réalisés sur le Rhône à partir du XX^e siècle

La CNR a été créée en 1933 pour assurer 3 missions:

- Production d'énergie hydroélectrique;
- Amélioration des conditions de navigation et création de ports fluviaux;
- Développement agricole, par la création de prises d'eau et canaux d'irrigation et de drainage.

Les infrastructures fluviales, conçues et exploitées par la CNR, comprennent 19 barrages et centrales hydroélectriques ainsi que 14 écluses. L'aménagement-type comprend :

- Un barrage évacuateur de crues, équipé de vannes mobiles et dimensionné pour laisser passer la crue millénale ;
- Une retenue, de longueur variable, pouvant atteindre 20 à 30 km, bordée d'endiguements le plus souvent insubmersibles ;
- Un canal de dérivation bordé par des digues insubmersibles ;
- Une usine hydroélectrique implantée sur la dérivation et équipée pour un débit dépassé 30 à 40 jours par an, sous une chute de l'ordre de 10 à 20 mètres ;
- Une écluse au gabarit européen de la classe Vb (4000 tonnes), en aval de Lyon, accolée à l'usine hydroélectrique ;
- Des contre-canaux drainant les débits de percolation dans les digues et maintenant les nappes phréatiques à des profondeurs acceptables, notamment dans les secteurs où le niveau du Rhône a été relevé.



Fig. 2 : À gauche, barrage de La Roche-de-Glun, à droite, usine hydroélectrique et écluse grand gabarit de Bourg-Les Valence (clichés © Beynet, 2023)

Signalons également qu'au sud immédiat de Lyon, les rives du Rhône ont été artificialisées le long de la « Vallée de la chimie » qui existe au droit de Feyzin, entre le fleuve et l'autoroute A7.

Après les premières usines chimiques implantées au XIX^e siècle à Saint-Fons en banlieue sud de Lyon, la raffinerie de Feyzin s'est installée un siècle plus tard, à l'aval du port Edouard-Herriot. Cette zone s'est beaucoup développée après la mise en service du barrage de Pierre-Bénite par la CNR, en 1962.

Plus à l'aval, n'oublions pas non plus les aménagements hydrauliques réalisés suite à la création de la CNARBRL par Philippe Lamour à partir de 1955, pour prélever une fraction du débit du fleuve (prise d'eau à Fourques) afin d'irriguer une partie du Languedoc et contribuer aussi à la mission Racine pour le développement touristique de cette région en rive droite du Rhône. (Lamour, 1992 ; Beynet, 2023 ; Imbert, 2024).

Enfin, rappelons la réalisation des centrales nucléaires par EDF le long des berges du Rhône, entre les années 1965 et 1985 :

- Entre Genève et Lyon, la centrale du Bugey (4 réacteurs, 1965-1977);
- En aval de Lyon, celles de Saint-Alban (2 réacteurs, 1979), Cruas (4 réacteurs, 1985) et Tricastin (4 réacteurs, 1974-1980).

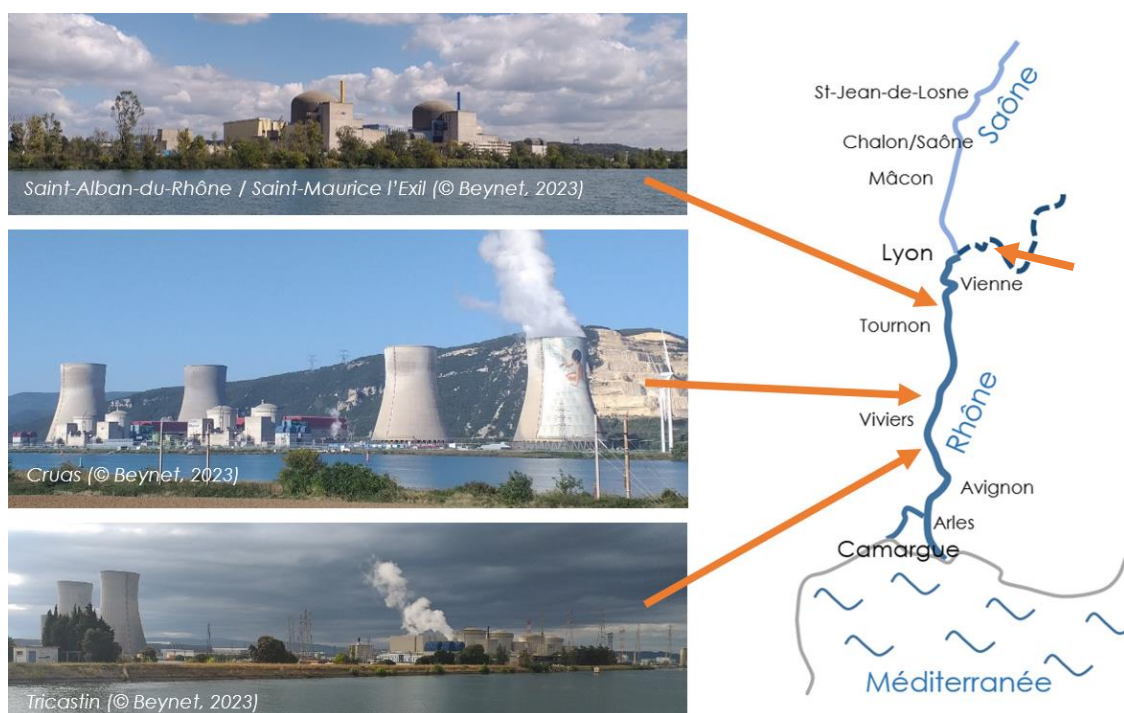


Fig. 3 : Centrales nucléaires sur le Rhône entre Lyon et la Camargue (clichés © Beynet, 2023)

Le Rhône, bon exemple pour limiter les émissions de CO2

Aujourd'hui, grâce aux aménagements réalisés au XX^e siècle, le Rhône, est un acteur essentiel pour lutter contre la pollution, les émissions de CO₂ et le réchauffement climatique.

Les transports sur les voies d'eau sont autant de poids-lourds en moins sur nos routes et autoroutes. Un convoi poussé à grand gabarit (185 m de long et 11,40 m de large) peut transporter 4400 tonnes, ce qui équivaut à 220 camions poids-lourds sur l'autoroute A7 dans la vallée du Rhône. Et une tonne transportée par voie fluviale émet en moyenne quatre fois moins de CO₂ que sur la route.

Mais, pour rester une alternative crédible au trafic routier, le transport sur voie d'eau devra, lui aussi, tendre vers la décarbonation. L'objectif est de réduire de 35% d'ici 2035 les émissions de polluants et GES, puis d'atteindre la neutralité carbone en 2050.

Dès à présent, en généralisant le branchement électrique à quai, on évite ainsi le fonctionnement des groupes électrogènes à bord des bateaux lorsqu'ils sont en escale à quai.

Ensuite, pour ce qui concerne le carburant, la tendance à court terme est l'hybridation électrique, puis l'utilisation de HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) pour 2035. Plus tard, il est envisagé de passer au biométhanol et probablement à l'hydrogène à l'horizon 2050. Notons toutefois que le biométhanol présente des risques de pollution de l'eau car il serait difficile de contenir une fuite de méthanol qui est soluble dans l'eau.

Soulignons de plus que le Rhône est lui-même un bon exemple de production d'énergie électrique décarbonée. Rappelons que grâce à ses barrages, la capacité de production d'électricité est de 16 milliards de kWh et représente environ un quart de la production hydroélectrique en France (Tratapel, 2004). Et les émissions de CO₂ dans l'atmosphère pour produire de l'énergie électrique varient beaucoup selon la source de production : charbon et pétrole lourd (centrales thermiques), gaz (turbines à gaz), vent (éoliennes), hydro-électricité (barrages) et enfin nucléaire. Le tableau ci-après donne des ordres de grandeur, exprimés en gramme de CO₂ émis dans l'atmosphère, par kWh produit:

Moyen de production de l'énergie	Grammes de CO ₂ émis par kWh produit
Centrale thermique au charbon	1050
Centrale thermique au fioul lourd	780
Turbine à gaz	440
Barrage hydro-électrique	10
Eolienne	10
Centrale nucléaire	6

Fig. 4 : Bilan des GES (gaz à effet de serre), selon l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

On le voit, l'énergie hydro-électrique produite par le Rhône est très bien placée car son bilan carbone est aussi bon que celui des fermes éoliennes par exemple. Grâce aux aménagements réalisés sur le fleuve depuis presque un siècle, le Rhône est devenu un bon exemple pour réduire la pollution atmosphérique et limiter les émissions de CO₂ dans l'atmosphère.

Mais dorénavant il faudra tenir compte du fait que le fleuve se réchauffe lui aussi et que son débit diminue peu à peu, comme on va l'expliquer plus loin.

Fragilité du delta du Rhône : submersion de la Camargue et remontée du coin salé

Le réchauffement climatique accélère l'élévation du niveau marin et provoque l'acidification des océans autour du globe. Pour entrer dans les détails, reprenons à présent quelques conclusions de l'AR6 du GIEC³, issues du résumé pour les décideurs. Les prévisions du GIEC (août 2021) donnent des fourchettes de valeur pour l'élévation future du niveau marin en considérant 4 scénarios de rejet de GES dans l'atmosphère, qui vont conduire à augmenter le réchauffement climatique, ce qui aura un impact direct sur l'élévation du niveau des mers. Ces 4 scénarios sont détaillés dans les extraits ci-après issus du résumé à l'attention des décideurs dont deux paragraphes importants B.5.3 et B.5.4.

B.5.3 : Il est pratiquement certain que le niveau moyen de la mer continuera à s'élever au cours du XXI^e siècle. Par rapport à la période 1995-2014, l'élévation probable du niveau moyen de la mer, d'ici 2100, est de 0,28 à 0,55 m dans le scénario de très faibles émissions de GES, de 0,32 à 0,62 m dans le scénario faible, de 0,44 à 0,76 m dans le scénario intermédiaire et de 0,63 à 1,01 m dans le scénario très élevé. À l'horizon 2150, l'élévation est de 0,37 à 0,86 m dans le scénario très faible, de 0,46 à 0,99 m dans le scénario faible, de 0,66 à 1,33 m dans le scénario intermédiaire et de 0,98 à 1,88 m dans le scénario très élevé (*fiabilité moyenne*). Une élévation du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale au-delà de la fourchette probable – approchant 2 m d'ici 2100 et 5 m d'ici 2150 – dans le cadre du scénario très élevé (*fiabilité faible*) ne peut être exclue, en raison de la grande incertitude qui entoure les changements de la calotte glaciaire.

B.5.4 : À plus long terme, le niveau de la mer devrait s'élever pendant des siècles, voire des millénaires, en raison du réchauffement continu des océans profonds et de la fonte des calottes glaciaires, et restera élevé pendant des milliers d'années (*fiabilité élevée*). Au cours des deux mille prochaines années, le niveau moyen de la mer augmentera d'environ 2 à 3 m, si le réchauffement est limité à 1,5 °C ; de 2 à 6 m s'il est limité à 2 °C et de 19 à 22 m avec un réchauffement de 5 °C. Il continuera à augmenter dans les millénaires suivants (*fiabilité faible*). Les projections de l'élévation plurimillénaire du niveau moyen de la mer sont cohérentes avec les niveaux reconstruits au cours des périodes climatiques chaudes passées : probablement 5 à 10 m plus haut qu'aujourd'hui, il y a environ 125 000 ans, lorsque les températures mondiales étaient très probablement supérieures de 0,5 °C à 1,5 °C, par rapport à celles de 1850-1900 ; et très probablement 5 à 25 m plus haut, il y a environ 3 millions d'années, lorsque les températures mondiales étaient supérieures de 2,5 °C à 4 °C (*fiabilité moyenne*).

Pour visualiser l'impact de l'élévation du niveau marin sur le littoral de la Camargue d'ici 2100 et même en 2150, malgré toutes les incertitudes, en nous appuyant sur les dernières fourchettes d'élévation du niveau marin données par le GIEC (AR6 publié le 9/08/2021), et en particulier le paragraphe B.5.3 (déjà retranscrit ci-avant), nous donnons ci-après, à titre indicatif, une simulation de la submersion marine de la Camargue dans le cas où l'élévation du niveau marin atteindrait en moyenne +1 m en 2100 et +1,90 m cinquante ans plus tard, en 2150.

³ Le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) a été créé en 1988.



Fig. 5 : La Camargue dans le delta du Rhône, si le niveau marin s'élève de +1m en 2100

(source : Coastal.climatecentral.org)



Fig. 6 : La Camargue dans le delta du Rhône, si le niveau marin s'élève de +1,90 m en 2150

(source : Coastal.climatecentral.org)

Depuis ces dernières années, le site de la Tour du Valat⁴ expérimente la reconversion des anciens salins en remparts contre l'élévation du niveau de la mer. En 2011, le Conservatoire du Littoral a racheté les salins (6 500 ha) et la vocation de cette zone dédiée à la production de sel a basculé vers la conservation des zones humides. L'enjeu est d'utiliser la capacité des zones humides à stocker temporairement l'eau de mer durant les événements de tempêtes. De plus, les salicornes et autres écosystèmes de marais peuvent retenir les sédiments. Cette restauration des zones humides est devenue une stratégie pour entraver et réduire la montée de la mer et les risques d'inondations (Sinaï, 2019).

⁴ Le Domaine de la Tour du Valat est un centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes fondé par Luc Hoffmann en 1954.

Actuellement, le Parc de Camargue souligne les risques de submersion marine bien réels, non seulement en raison de l'élévation prévisible du niveau de la mer, mais aussi en raison de la subsidence qui est l'enfoncement du sol, ce qui accélère l'arrivée de la submersion par rapport à d'autres littoraux non soumis à la subsidence, comme l'Occitanie par exemple. En Camargue, la croûte terrestre se déforme et s'enfonce sous le poids de plusieurs kilomètres de sédiments. Autrefois, cet enfoncement était compensé par les crues du Rhône et les sédiments qu'elles déposaient sur les sols. Mais depuis la construction des digues qui interdisent au Rhône d'inonder la Camargue, l'enfoncement des sols n'est plus compensé car il n'y a plus d'apports de sédiments. Le Parc de Camargue affiche sur son site internet :

L'élévation de la mer se situe actuellement entre 2 et 6 mm par an, auxquels il faut ajouter un enfoncement du delta sur sa base (subsidence), d'environ 2 mm par an. Dans de telles conditions, le delta pourrait être partiellement envahi par la mer au cours du siècle à venir (80 cm d'élévation du niveau marin). Le risque majeur concerne toutefois les terres et les infrastructures proches du littoral, dont en particulier le village des Saintes-Maries-de-la-Mer, exposé à des tempêtes de plus en plus fréquentes, pourrait se révéler difficile à protéger.

Suite à cette vulnérabilité avérée, une promenade surélevée a été construite sur une digue en maçonnerie pour bien isoler le port et la mer de la voirie située en arrière. Mais cette protection sera-t-elle suffisante, quand, dans quelques décennies, lorsque le niveau marin se sera élevé en raison du réchauffement climatique ?



Fig. 7 : Digue de protection entre le bassin du port de pêche et plaisance de Port-Gardian et le village des Saintes-Maries-de-la-Mer (clichés © Beynet, 2021)

Le village des Saintes-Maries-de-la-Mer ne sera-t-il pas submergé⁵ malgré tout, par les étangs en arrière et la présence du Petit-Rhône à l'ouest immédiat, bien qu'il soit endigué, si des brèches apparaissent dans les digues ?

⁵ Dès l'année 2002, les risques de submersion de nos littoraux étaient évoqués par notre confrère Alain Aventurier, actuel Secrétaire perpétuel de l'Académie de Nîmes, *Les conséquences de l'activité humaine sur l'écologie* (Aventurier, 2002)



Fig. 8 : Survol des Saintes-Maries-de-la-Mer par beau temps (cliché © Beynet, septembre 2020)

Fragilité du Rhône : réchauffement de l'eau, impacts sur la faune et la flore

De nos jours, le réchauffement climatique conduit à une augmentation des températures moyennes de l'air, nous venons de le voir. Mais l'eau du Rhône s'est déjà réchauffée elle-aussi ces dernières décennies, en particulier en raison des rejets de refroidissement des centrales nucléaires.

En effet, selon une étude publiée début mars 2023, pilotée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, la température de l'eau du fleuve a augmenté depuis une cinquantaine d'années. La hausse est d'environ 2,2°C à l'amont, près du lac Léman et de 4,5°C à l'aval, proche des villes de Tarascon et Beaucaire.

Sur la même période, en raison de la réduction des chutes de neige de 10% environ, combinée à l'assèchement des sols, le débit du Rhône a diminué de 7% à l'amont et de 13% plus à l'aval, en Camargue, entre 1960 et 2020.

Selon cette étude, il faudrait s'attendre à une baisse du débit d'été de l'ordre de 20% sur les 30 prochaines années⁶. Il en sera de même pour les principaux affluents du Rhône : Isère, Drôme et Durance. (BRLi, 2022).

Pour en revenir à l'énergie nucléaire, Il est envisagé de construire d'autres réacteurs à partir de 2027. A priori 2 réacteurs complémentaires seront installés à la centrale du Bugey : « Le Conseil de Politique Nucléaire, présidé par Emmanuel Macron, a décidé le 19 juillet 2023 d'implanter deux réacteurs de troisième génération (EPR2) sur le site de la centrale du Bugey ». (Source : <https://www.ain.fr/deux-nouveaux-reacteurs-epr2-a-la-centrale-du-bugey/>)

⁶ Notons qu'il restera malgré tout 80% du débit moyen, soit $1760 \times 80\% = 1408 \text{ m}^3/\text{s}$

Selon la Commission Nationale de Débat Public, cet aménagement comprendra une station de pompage, permettant le prélèvement de l'eau dans le Rhône pour alimenter le circuit de refroidissement (circuits de refroidissement fermés ou semi-fermés) et des tours aéro-réfrigérantes pour assurer le refroidissement (deux tours de 200 mètres de hauteur ou quatre tours de 161 mètres de hauteur). Source : <https://www.debatpublic.fr/construction-dune-paire-de-reacteurs-epr2-sur-le-site-du-bugey-5849>)

Dorénavant, pour que les générations qui vivront au XXII^e siècle puissent encore profiter des bienfaits du Rhône, il va falloir le protéger au mieux. C'est à notre génération actuelle d'y veiller, en accélérant la transition énergétique.

Grâce aux aménagements réalisés sur le fleuve depuis presque un siècle, le Rhône est devenu un bon exemple pour réduire la pollution atmosphérique et limiter les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Mais dorénavant il faudra tenir compte du fait que le fleuve se réchauffe lui aussi et que son débit diminue peu à peu. Il n'est pas inépuisable⁷.

Mais ce ne sera pas une tâche facile et il va falloir faire preuve d'imagination et d'ingéniosité pour ne pas aggraver les augmentations des températures des voies d'eau.

À propos d'innovation, évoquons le projet d'une future centrale osmotique à l'embouchure du fleuve, dans le coin salé, qui permettra de produire de l'énergie électrique. L'énergie osmotique est générée naturellement par la différence de salinité de l'eau douce des fleuves et de l'eau salée de la mer lorsqu'elles se rencontrent.

Selon les informations disponibles⁸ sur le site internet de la CNR :

Cette centrale osmotique de petite taille sera intégrée dans deux conteneurs qui abriteront le générateur osmotique connecté au Rhône au moyen de tuyauteries et de pompes afin d'acheminer l'eau douce et l'eau salée nécessaires à son fonctionnement. Une troisième canalisation permettra d'évacuer le mélange des eaux dans la zone du fleuve où l'eau douce et l'eau salée se rencontrent à l'aval de l'écluse.

La centrale est développée dans le respect de la nature, à partir de matériaux biosourcés, sans aucun produit chimique, énergie fossile ou métal lourd. En outre, les eaux qui circulent dans le système sont restituées intégralement et de façon naturelle comme le fait la nature dans l'estuaire.

Dans un article récent⁹ paru le 19/10/2024 dans *Sciences et Avenir* :

Le delta du Rhône pourrait générer à lui seul, près de 4 Terawattheures par an avec des générateurs osmotiques tel que celui construit sur l'écluse de Barcarin près de Port-Saint-Louis du Rhône.

⁷ L'association Id-Eau a été créée dans le but de donner une personnalité juridique au Rhône pour mieux le protéger : <https://www.id-eau.org/>

⁸ <https://www.cnr.tm.fr/actualites/cnr-et-sweetch-energy-lancent-la-1ere-centrale-osmotique-pilote-de-production-delectricite-en-france/>

⁹ https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/developpement-durable/une-energie-renouvelable-inedite-voit-le-jour-en-france_180924

Le TéraWattheure (TWh) est employé pour quantifier la production et la consommation d'électricité à grande échelle. Un TéraWattheure correspond à un milliard de kilowattheures (kWh). Cette unité est particulièrement pertinente pour les statistiques énergétiques nationales et internationales car elle permet de représenter des quantités d'énergie gigantesques produites par des très grandes centrales électriques (notamment nucléaires ou hydrauliques).

Le TWh est souvent utilisé pour comparer la production d'énergie d'une année à l'autre ou entre différentes sources d'énergie. En 2023, la production totale d'électricité¹⁰ en France métropolitaine a atteint 494,3 TWh et a exporté 75,4 TWh d'électricité vers l'étranger.

Les fleuves contribuent à diminuer les températures de l'air dans les villes qu'ils traversent

Nous avons déjà cité deux paragraphes importants du rapport AR6 du GIEC publié en 2021. Citons à présent un paragraphe supplémentaire qui concerne les zones urbaines :

C.2.6 : Les villes intensifient, à échelle locale, les réchauffements liés à l'activité humaine, et une urbanisation accrue des espaces, couplée à une augmentation des extrêmes de chaleur vont augmenter la sévérité des vagues de chaleur (confiance très haute). L'urbanisation augmente également les précipitations moyennes et hautes en aval ou amont des villes (confiance moyenne), entraînant une augmentation de l'intensité du ruissellement (confiance haute). Dans les villes côtières, la combinaison d'épisodes maritimes extrêmes plus fréquents (du fait de l'augmentation du niveau de la mer et des ondes de tempête) et des épisodes de précipitations/écoulements d'eau extrêmes, rend plus probable les risques d'inondations (confiance haute).

Et soulignons que les fleuves peuvent contribuer à abaisser sensiblement la température de l'air dans les villes qu'ils traversent. Partout où les rives fluviales ont été artificialisées pour créer des voies sur berges pour améliorer le trafic routier urbain, il serait souhaitable de revenir en arrière en végétalisant les berges fluviales pour le bien-être des riverains.

Par exemple à Lyon, de la Croix-Rousse à Perrache, on connaît le futur visage de la Rive droite du Rhône après les travaux¹¹ prévus de 2025 à 2035. Au « tout automobile » vont succéder des espaces de promenade, de contemplation et de détente en bordure du fleuve comme au pied des façades, une piste cyclable à double sens, le tout sous l'abri protecteur d'une végétation dense et en lien avec les milieux aquatiques. Pour retisser le lien avec le Rhône !

¹⁰ Source : <https://www.connaissancedesenergies.org/questions-et-reponses-energies/unites-de-mesure-quoi-correspond-un-wattheure-et-ses-multiples-kwh-mwh-gwh-twh>

¹¹ Source : <https://www.lyon.fr/actualite/projets-urbains/renouer-avec-le-rhone-en-rive-droite>

Conclusion

Nous avons commencé notre communication en citant Charles Lenthéric, membre de notre Académie de Nîmes dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Nous proposons de conclure en citant Erik Orsenna, membre de l'Académie française, actuel Président d'Initiatives pour l'Avenir des Grands Fleuves¹² :

Si vous saviez comme je plains les villes qu'aucun fleuve ne traverse... Elles ont beau jouer les fières, les modernes, les indifférentes, je les sais orphelines.

Vous voulez savoir pourquoi j'aime les fleuves ? Pour au moins cinq raisons, les cinq personnages que tout fleuve porte en lui :

- **Le fleuve d'abord, c'est la vie.** Car tous les vivants ont besoin d'eau pour vivre ;
- **Tout fleuve, ensuite, est un chemin.** Mais un chemin particulier, un chemin qui avance ;
- **Le fleuve est aussi une force.** Qui ne demande qu'à nous venir en aide pour faire tourner les moulins ou les turbines des barrages ;
- **Le fleuve est un royaume** dont les habitants ne sont pas seulement les poissons mais aussi des légendes ;
- **Le fleuve enfin est un miroir.** Non seulement, il reflète le ciel mais aussi les populations qu'il traverse. Dites-moi quelle relation vous entretenez avec votre fleuve et je vous dirai à quel type de sociétés vous appartenez.

Alors, pour nous et surtout pour les générations futures, dès à présent, protégeons nos beaux fleuves, car ils nous protègent eux-aussi.

Remerciements

L'auteur tient à remercier Gilles Tratapel, ingénieur, ancien Responsable d'activité « *Cours d'eau, Environnement* » à la CNR, Direction de l'Ingénierie Technique, Département Génie civil et Environnement. Il a collaboré à la rédaction de certains paragraphes du livre *De la Bourgogne à la Camargue, navigation sur le Rhône et la Saône* (Beynet, 2023).

L'auteur exprime aussi sa reconnaissance à Peter Girard, Director of Communications du site américain [coastal.climatecentral.org](https://www.coastal.climatecentral.org), qui l'a autorisé à reproduire ses cartes de submersion marine.

¹² Source : <https://www.initiativesfleuves.org/iagf/edito-erik-orsenna/>

Bibliographie sommaire

Allard, P., et al., *Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône : Les « catastrophes » de 1856 et 1993-1994*. Rapport DESMID, CNRS UMR 6012 ESPACE - EA 3293 Université de la Méditerranée. 148 pp. 2005

Aventurier, Alain, *Les conséquences de l'activité humaine sur l'écologie*, Mémoires de l'Académie de Nîmes, t. LXXV, 2002, pp. 225-244.

Beynet, Jean-Marc, *De la Bourgogne à la Camargue, navigation sur le Rhône et la Saône*, éditions BoD, 323 pages, 2023

Beynet, J.-M., et Feller, C., *De la COP 21 (Paris, 2015), à la COP 28 (Dubaï, 2023)*, communication présentée le 15/12/2023 à l'Académie de Nîmes, dans le cadre d'un groupe de réflexions sur le thème *Les défis mondiaux contemporains et leurs enjeux*. Mémoires de l'Académie de Nîmes, 2023.

Beynet, Jean-Marc, *Saône, Rhône, Méditerranée / Mediterranean / Mittelmeer*, ouvrage trilingue (français, anglais, allemand), BOD éditions, 2024, ISBN 978-2-322-519-17-0

Beynet, Jean-Marc, Charles LENTHERIC, ingénieur, auteur visionnaire dans la seconde moitié du XIX^e siècle, communication présentée le 3/05/2024 à l'Académie de Nîmes, Mémoires de l'Académie, 2024.

Blanc, Jean-Louis, *Les grands fleuves du monde. Aux sources de la vie*, Editions Glénat, 2003.

BRLi, *Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Mission 2 : Vulnérabilité et criticité de la ressource Rhône* (2022).

GIEC/IPCC, AR6, *Rapport du Groupe de travail n°1*, publié le 9/08/2021

GIEC/IPCC, *Climate Change 2022, Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers*, Rapport publié le 28/02/2022 (35 pages).

Heurtefeux, H., et al., *Une approche alternative de la gestion des risques côtiers, l'exemple de la petite Camargue*, Territoires en mouvement Revue de géographie et aménagement. 2007

Imbert, Francis, *Le Rhône ... et le Bas-Rhône*, conférence présentée au Forum Nîmois Charles Gide le 12 septembre 2024.

Lacroix, Denis, et al., *La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective*. Rapport d'étude AllEnvi, Alliance nationale de recherche pour l'Environnement, Octobre 2019, 172 p.

Lamour, Philippe, *Le Cadran solaire*, éditions Robert Laffont, 1992

Lenthéric, Charles, *Du Saint-Gothard à la mer, le Rhône, histoire d'un fleuve...*, Éditions Plon-Nourrit, 1892

Sinaï, A., *La Camargue, zone tampon face à la montée des eaux*, publié dans Actu-Environnement, février 2019.

Tratapel, Gilles, *Etat du patrimoine des digues du Rhône – Comité Français des Barrages et Réservoirs*, www.barrages-cfbr.eu, 2004