

TABLEAU GÉNÉRAL DE L'HYDROLOGIE FLUVIALE FRANÇAISE

par M. PARDE, professeur à l'Université de Grenoble.

La Société Hydrotechnique de France réalise, sous l'égide et avec le concours du Secrétariat d'Etat à la Production Industrielle, et pour la première fois dans notre pays, la publication d'un Annuaire hydrologique, où figurent les débits journaliers et moyens de nombreux cours d'eau. Elle a jugé que l'appréciation de ces chiffres serait facilitée par la lecture préalable d'un exposé général sur le régime des rivières françaises.

Appelé à rédiger cet exposé, j'ai adopté pour programme, non l'étude successive d'un certain nombre de fleuves, mais la présentation synthétique des divers éléments de l'hydrologie, tels que chacun se manifeste dans nos domaines fluviaux.

J'examinerai donc à tour de rôle : l'abondance moyenne annuelle, les variations saisonnières, les étiages, les crues, les transports solides.

I. ABONDANCE MOYENNE ANNUELLE ET BILAN DE L'ÉCOULEMENT

Définitions:

L'abondance des cours d'eau se définit avant tout par le module ou débit moyen annuel (moyenne de tous les débits journaliers de l'année). On distingue pour le module, comme pour toutes les valeurs caractéristiques du régime, le débit brut ou absolu en mètres cubes par seconde (ce sont ces valeurs qui figurent dans les tableaux de débits journaliers du présent annuaire), puis les débits relatifs ou spécifiques, à savoir: les précédents ramenés à l'unité de surface réceptrice ou de bassin versant. On les exprime, dans les pays fidèles au système métrique, en litres à la seconde par km^2 . Par exemple, l'Isère à Grenoble ayant un module de $188 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour 6786 km^2 , son module spécifique est : $188000/6786 = 27,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

On peut, de la sorte, comparer de façon rationnelle l'abondance relative de rivières à bassins versants différents. Ainsi, l'Isère à Grenoble a beau être moins puissante en module brut que la Seine à Paris ($188 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contre $320 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) elle a une abondance spécifique quatre fois et demie supérieure ($27,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ contre $7,8 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$).

On appelle, d'autre part, indice d'écoulement la tranche d'eau correspondant au volume liquide total écoulé annuellement supposée uniformément répartie sur tout le bassin versant. Plus brièvement, c'est la précipitation écoulée annuellement P' ; on l'obtient en multipliant le module spécifique par 31,557 s'il s'applique à une période comprenant une année bissextile sur quatre (et autrement par 31,53 ou 31,62).

Ainsi, l'Isère à Grenoble débite l'équivalent de 1024 mm. d'eau, la Seine à Paris l'équivalent de 230 mm.

Le quotient de P' , pluie écoulée, par P , pluie tombée sur le bassin, donne le coefficient d'écoulement. Enfin, on appelle déficit d'écoulement (E ou D), la différence $P-P'$ entre précipitation tombée et précipitation écoulée.

Valeur des précipitations en France :

Dans notre pays, les précipitations annuelles en un point donné varient de moins de 500 mm, en certains points de l'Alsace, du Bassin Parisien et de la Côte Méditerranéenne, à plus de 3 m. sur le versant occidental du Mont-Blanc. Les maxima avoisinent encore 3 m. sur les flancs tournés vers l'ouest de certains contreforts pyrénéens. Ils dépassent 1,50 ou 2 m. sur des zones étendues dans toutes nos montagnes, tandis qu'ils restent inférieurs à 800 mm. sur de vastes

superficiés de nos plaines et de nos vallées Intérieures alpestres, très abritées contre les souffles humides. D'après ces indications, les précipitations sont d'autant plus fortes que le relief est plus saillant (parce qu'il force les nuages à s'élever et à se condenser par refroidissement) et plus exposé aux vents pluvieux. Les vents humides principaux sont d'abord les courants d'origine atlantique, à savoir celui d'Ouest-Sud-Ouest sur la plus grande partie de la France, celui d'Ouest-Nord-Ouest sur les Pyrénées et dans le Sud-Est de l'Aquitaine; puis le vent méditerranéen de Sud-Est à Est-Sud-Est dans les Alpes du Sud, en Provence, en Languedoc, en Roussillon et jusqu'aux montagnes voisines. En outre, toutes choses égales par ailleurs, les régions les plus voisines des mers sont les plus arrosées.

On conçoit donc que certains petits bassins de haute montagne reçoivent, sur quelques dizaines de km², plus de 2,50 m de chute d'eau moyenne. Sur d'autres surfaces de même étendue, en plaine, dans le centre déprimé du bassin de Paris ou sur la côte languedocienne, il ne tombe que 500 à 600 mm.

Si l'on considère les domaines de nos grands fleuves, on trouve 680 mm. pour la Seine, 740 mm. pour la Loire, 900 mm. pour la Garonne non compris la Dordogne (980 mm), 1100 pour le Rhône, 1225 pour l'Adour de bassin bien plus réduit il est vrai (16732 km²). Et les 20600 km² du Rhône avant Lyon recueillent environ 1460 mm.

Valeurs des coefficients d'écoulement :

Même si les coefficients d'écoulement étaient partout les mêmes, aux plus fortes précipitations correspondraient les plus gros modules. Or, toutes choses égales, d'ailleurs, la fraction des pluies écoulée augmente avec l'importance de ces pluies; en France, elle varie sans doute de 20 ou 25 % dans les parties les plus sèches et en même temps les plus chaudes, à 0,30 pour la Seine, 0,33 pour la Loire, 0,44 pour la Garonne, 0,66 pour le bassin total du Rhône, 0,69 pour l'Isère, 0,75 pour l'Arve, 0,70 à 0,85 pour quantités de rivières de montagnes très arrosées, environ 0,90 pour l'Arve, avant Chamonix.

Valeurs et facteurs des déficits d'écoulement :

Les déficits annuels d'écoulement (pour des périodes globales assez longues surtout) varient beaucoup moins. En aucun bassin français ils ne doivent dépasser 600 à 625 mm. au maximum (dans les parties moyennes. du bassin de l'Adour, dans la moitié occidentale peu élevée mais déjà très arrosée du Jura). Et leurs minima paraissent voisins de 200 à 275 mm, pour les petits bassins de haute montagne (couvrant au plus 100 à 600 km²).

Dans ces régions, le déficit dont le facteur essentiel est l'évaporation se trouve réduit par la faiblesse de la température; celle-ci diminue environ de 0,55°C par 100 mètres d'altitude, et peut tomber sur les bassins en question à une valeur annuelle moyenne inférieure à 0°C. Elle atteint au contraire 13 et 14°C dans les plaines ou les collines méridionales, d'où les chiffres relativement élevés du déficit. En corollaire de cette influence primordiale, les déficits augmentent quand une forte part des chutes d'eau a lieu en saison chaude et surtout en été (Loire supérieure, Allier, Cher, Creuse, rivières de la plaine Aquitaine) ; ils diminuent dans le cas contraire (sud du Massif Central et notamment Montagne-Noire, Tarn et Lot supérieurs, Agout et Bretagne).

Dans un autre ordre d'idées, la platitude du relief favorise l'évaporation, et les pentes accentuées ont l'effet inverse; la perméabilité très accentuée, avec infiltration rapide à grande profondeur réduit l'évaporation. Cette Influence paraît décisive (avec effet de 30 à 40 % peut-être) dans les zones calcaires à circulation souterraine très active (phénomènes dits karstiques, tels que réseaux fluviaux souterrains alimentés par des gouffres verticaux ouverts à la surface en avens, et résurgences ou sources vaclusiennes, comme la Fontaine de Vaucluse, la

Fontaine Lévêque, affluent du Verdon, la Sorgue du Larzac, etc...). Ces zones karstiques sont surtout 'les Causses, les Plans du Verdon, le Jura et certains massifs préalpins.

Enfin, le déficit s'accroît avec les précipitations mais jusqu'à une valeur limite supérieure qui, en France, ne dépasse pas, comme on l'a vu, 600 à 625 mm. pour des précipitations de l'ordre de 1200 mm, en des régions assez tièdes. Il s'agit là de valeurs globales pour de nombreuses années. Certaines années particulières, le déficit peut atteindre 900 mm. et même un peu plus dans notre pays. Et comme pour une même précipitation annuelle, il peut varier beaucoup selon la répartition mensuelle, on risque de grosses erreurs en évaluant les modules d'années particulières d'après les précipitations. Par contre, pour des périodes de plusieurs années, des calculs de ce genre donnent des résultats très approchés, à condition d'être effectués par des experts.

On risque d'autant moins d'erreurs qu'on travaille sur des bassins plus grands, à cause de la compensation de facteurs locaux agissant en sens contraire. Ces compensations ont une si réelle efficacité que pour l'ensemble des bassins de nos quatre plus grands fleuves, le déficit global annuel paraît compris entre 476 et 600 mm. Pour des surfaces ne tombant pas au-dessous de 10000 km², il doit dans la plupart des cas, osciller entre 425 et 525 mm.

Valeurs des modules spécifiques :

Les modules, spécifiques tombent jusqu'aux environs de 4 l/s/km² pour les cours d'eau du Lannemezan, peut-être à 3 pour certains ruisseaux languedociens. Ils ne dépassent pas 10 l s⁻¹ km⁻² pour beaucoup de cours d'eau de plaine, Insuffisamment renforcés par les apports de hauteurs périphériques (5,5 pour l'Oise, 6,3 pour le Cher, 6,35 pour toute la Seine, 7,3 pour la Marne, 8 pour toute la Loire, 9,4 pour l'Yonne). Pour les bassins de relief mixte comprenant une proportion déjà notable de montagnes bien arrosées on trouve 10 à 15 et même 20 (12 pour la Moselle à Metz, 12,4 pour la Garonne à Bordeaux, 12,6 pour la Meuse à Givet, 13,7 pour la Saône, 15,5 pour le Lot, 15,9 pour le Tarn, 16,7 pour la Durance à Mirabeau, 16,9 pour la Dordogne, 19,6 pour le bassin total du Rhône). Les modules sont plus élevés lorsque la surface couverte par ces montagnes et leur altitude sont assez considérables (20,6 pour le Rhône à Givors, 21 pour le Doubs, 21,5 pour tout l'Adour, 20 pour la Garonne à Toulouse, 28,5 pour le Rhin à Bâle, 29,7 pour l'Isère, 35,2 pour l'Ain, 31,2 pour le Rhône avant la Saône et 41 pour l'Arve). Et enfin, les petits bassins de haute montagne peuvent émettre jusqu'à 40, 80, 70 l s⁻¹ km⁻², notamment plus de 50 dans les Pyrénées pour diverses branches du réseau des Gaves, pour certains affluents de la Neste, du Salat, de la Garonne, de l'Ariège, et, dans les Alpes du Nord, pour l'Arve, la Diosaz, le Bonnant, le Giffre, le Doron de Beaufort, le haut Guiers, etc... Le record de France appartient à l'Arve à Chamonix avec 70 l s⁻¹ km⁻² pour un bassin versant de 187 km². Pour quelques dizaines de km², le torrent de la Mer de Glace ou Arveyron, et le torrent du glacier des Bossons doivent rouler au moins 80 ou 90 l s⁻¹ km⁻². Ce sont des débits déjà remarquables. Mais on observe bien plus encore dans certaines régions montagneuses du globe en bordure immédiate des mers Jusqu'à 150 et 200 l s⁻¹ km⁻² en Norvège, dans le Canada Occidental, etc...

Valeurs des modules bruts

Comme aucun bassin fluvial ne dépasse 120000 km² (Loire), les modules bruts en France ne sont nulle part énormes; Voici quelques chiffres en m³s⁻¹ :

Rhône (1)	1880	Vilaine	95
Rhin à Strasbourg	1150	Meuse à Givet	100
Loire	935	Gave d'Oloron	100

Garonne	700	Gave de Pau	92
Seine	500	Arve	85
Saône	410	Cher	87
Dordogne	405	Aisne	82
Isère	350	Var	60
Adour	360	Ardèche	60
Tarn	280	Vézère	72
Vienne	215	Aude	70
Durance	220	Seine à Paris	320
Lot	180	Loire à Nevers	185
Doubs	160	Loire à Orléans	845
Moselle à Thionville	160	Loire à Saumur	700
Maine	142	Garonne à Toulouse	200
Allier	140	Garonne à Agen	475
Charente	150	Rhône à Bellegarde	360
Ain	130	Rhône au Sault	500
Drac	107	Rhône à Lyon	640
Yonne	105	Rhône à Givors	1060
Oise	95	Rhône à Valence	1440
Marne	100	Rhône à Avignon	1.630

(1) Débits qu'on aurait sans les prélèvements par de. canaux.

Ces modules sont comparables à ceux des autres fleuves européens, sauf le Danube et certains cours d'eau russes. On trouve, par exemple

- 2.200 pour le Rhin;
- 1.800 pour le Pô (y compris les saignées des canaux d'irrigation);
- 970 pour la Vistule;
- 678 pour l'Elbe;
- 700 pour le Don avant le Donetz;
- 1.750 seulement pour le long Dniepr.

Mais, faute d'espace pour les surfaces réceptrices, aucun de nos fleuves n'approche en abondance la Volga ($8300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), le Danube ($6500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), ni la Kama ($8900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); même la Néva ($2450 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) l'emporte de beaucoup sur le Rhône. Et nous rappellerons seulement pour mémoire les modules du Mississippi ($18000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) et de l'Amazone (80000 à $100000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) ou du Congo (plus de $40000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Fluctuations de l'abondance

L'abondance moyenne annuelle peut varier beaucoup d'une année à l'autre et d'un groupe d'années à un autre; le rapport des modules extrêmes ne dépasse pas 1,60 à 1,75 pour les cours d'eau glaciaires, mais il atteint jusqu'à 4 ou 8 en un ou deux siècles pour les rivières pluviales, surtout pour celles de type méditerranéen (voir ci-dessous la signification de ces termes) ou pour celles de type océanique, mais médiocrement arrosées (rivières de plaine) et de ce fait plus vulnérables lors des années peu pluvieuses. D'autre part, les années tendent à se grouper en séries sèches ou humides. Durant une suite de dix ans, le module global peut différer sensiblement de celui d'une longue période (plus de 50 ans), l'écart variant de 5 à 15 % selon les types. Plus les périodes de comparaison s'allongent, moins leurs modules

diffèrent. Il est possible, toutefois, que l'abondance tende, en dehors de fluctuations à court terme, à croître ou à diminuer peu à peu dans le cours d'un siècle ou de plusieurs siècles, en raison de changements climatiques graduels. Certains indices donnent le soupçon que, depuis un siècle ou trois quarts de siècle, les débits moyens de la plupart de nos rivières augmentent.

II. VARIATIONS SAISONNIÈRES .

Si les modules de nos rivières n'ont rien de très imposant, leurs régimes saisonniers offrent, par contre, la plus heureuse diversité qu'illustre le tableau ci-après des coefficients mensuels de débits (rapports des débits moyens mensuels au débit moyen annuel) en un certain nombre de stations caractéristiques :

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Régimes
Arve à Chamonix (1905-1911)	0.21	0.20	0.20	0.34	0.72	1.55	2.81	3.40	1.35	0.65	0.34	0.27	Glaciaire pur
Doron de Bozel à Moutiers (1904-1911)	0.38	0.34	0.36	0.70	1.67	2.44	1.97	1.49	0.92	0.65	0.46	0.39	Nival de montagne
Gave de Pau à Lourdes (1909-1925)	0.67	0.67	0.75	1.09	1.85	1.82	1.38	0.80	0.66	0.75	0.83	0.74	Nival de transition
Fier à Val-de-Fier (1911-1939)	0.92	0.94	1.24	1.52	1.44	0.82	0.68	0.62	0.68	0.88	1.12	1.14	Nivo-pluvial
Lot à Cahors (1887-1926)	1.29	1.50	1.65	1.68	1.12	0.72	0.38	0.29	0.31	0.60	1.09	1.33	Pluvio-nival
Saône à Saint-Albin (1877-1936)	1.74	1.64	1.54	1.02	0.80	0.56	0.46	0.38	0.42	0.80	1.22	1.42	Pluvial océanique
Durance à Mirabeau (1892-1930)	0.70	0.71	0.95	1.26	1.69	1.73	0.96	0.59	0.55	0.91	1.08	0.94	Nival de transition à tendance méditerranéenne
Ardèche à Saint-Martin (1851-1900)	1.20	1.25	1.50	1.42	0.90	0.42	0.18	0.15	0.45	1.37	1.67	1.48	Pluvio-nival à tendance méditerranéenne

Les facteurs de cette diversité sont l'altitude, la température, le jeu des répartitions pluviales mensuelles, l'évaporation et le phénomène nival (rétention et fonte des neiges). Les différents régimes saisonniers de nos rivières peuvent se répartir en trois grandes catégories

- régimes simples, qui présentent un seul maximum et un seul minimum, à cause de la prépondérance marquée d'un mode d'alimentation;
- régimes complexes originels qui doivent aux effets combinés et plus souvent successifs de plusieurs facteurs (en France la neige, d'une part, la pluie et l'évaporation d'autre part) deux maxima et deux minima, cette complexité se manifestant dès le cours supérieur;
- régimes complexes changeants, dont l'hydrologie saisonnière change d'amont en aval, à

mesure que le dosage des facteurs, dans l'ensemble de la surface réceptrice, se modifie.

Régimes simples

Ils sont, en France, au nombre de 4 le régime glaciaire, le régime nival de montagne, le régime pluvial océanique et le régime pluvial méditerranéen.

Le régime glaciaire se manifeste sur les cours d'eau dont le bassin comporte des altitudes dépassant 3.700 à 4.000 m, et au moins 20 % de surface englacée. L'écoulement y est très réduit en hiver et, au contraire, très abondant de juin à août, avec maximum en juillet (Vénéon, Arc supérieur et Doron de Termignon, Doron de Bozel supérieur, Bon Nant) ou même en août (Arve à Chamonix) ; les différences de température entre le jour et la nuit engendrent, en été, des oscillations journalières qui peuvent faire varier les débits du simple au double ou même au triple.

On retrouve ces variations quelque peu atténuées dans le régime nival de montagne, qui se manifeste, dans les Alpes, sur les cours d'eau dont les bassins versants atteignent des altitudes maxima comprises entre 3.000 et 3.700 m. (Isère supérieure, Arc moyen et inférieur, Romanche et Eau d'Olle, Haute Durance et Gyronde, etc...) et pour les Pyrénées seulement dans les bassins supérieurs du gave de Pau et de la Garonne. Calculé sur la moyenne de plusieurs années, le débit maximum de ces cours d'eau se situe toujours en juin.

Le régime pluvial océanique règne, en dehors de la zone méditerranéenne, dans les plaines et dans les montagnes d'altitude inférieure à 1.000 m. Les inégalités de l'évaporation y masquent celles de la pluviosité, déterminant, même dans des régions à pluies maxima d'été, des basses-eaux de saison chaude, avec minimum en août-septembre, et des hautes-eaux de saison froide, avec maximum en janvier ou février. Ce régime très répandu est celui de la Seine et de ses affluents, de la Loire Inférieure, du Maine et de la Vienne, de l'Indre, du Cher, du Tarn inférieur, des rivières du Lannemezan, de l'Aveyron, de la Saône, de la Moselle, de la Meuse, de la Somme, de l'Orne, de la Vilaine, de la Charente, etc.

Le régime pluvial méditerranéen comporte un minimum plus profond d'août et septembre et un maximum de novembre en Languedoc oriental et en Provence, de janvier dans les pays de l'Orb, de l'Aude inférieure et dans le bas Roussillon.

Régimes complexes originels

Ils sont, en France, au nombre de 3 : le régime pluvio-nival, à prépondérance pluviale écrasante (85 à 92 %), avec les deux sous-régimes pluvio-nival méditerranéen et pluvio-nival océanique, le régime nivo-pluvial moins influencé par la pluie, enfin le régime nival de transition entre le régime nivo-pluvial et le régime nival simple.

Le régime pluvio-nival comporte de gros débits en mars et avril grâce à l'appoint des eaux nivales, une autre période d'abondance, purement pluviale, en automne, une diminution modique des moyennes en janvier et février et une baisse plus profonde en août et septembre. Ce régime règne dans des bassins dont les sommets atteignent de 1.200 à 1.700 m. environ.

Dans le sous-régime pluvio-nival méditerranéen (rivières provençales et cévenoles, Loire, Allier, Lot, Tarn à proximité de leurs sources), le maximum d'automne, qui se produit dès novembre, est supérieur à celui de mars-avril.

Dans le sous-régime pluvio-nival océanique (rivières Jurassiennes, peut-être quelques hauts tronçons Vosgiens, la Haute-Loire, l'Allier, le Tarn jusqu'à l'Agout ou à l'Aveyron, le Lot, la Truyère, la Dordogne, etc...), le maximum de mars ou d'avril dépasse celui d'automne qui apparaît plutôt en décembre qu'en novembre.

Le régime nivo-pluvial est celui des bassins qui culminent vers 2.000 à 2.500 m. dans les Alpes (rivières préalpines) et un peu plus dans les Pyrénées (gave d'Aspe, Saison). La

rétenion nivale accentue le minimum d'hiver et diminue le maximum automnal ; la fonte des neiges relève le minimum d'été et augmente le maximum de printemps, reculé souvent d'avril à mai.

Dans le régime nival de transition, ce maximum de printemps se produit au plus tôt en mai, parfois en juin, et dépasse de beaucoup le maximum automnal, réduit à une insignifiante apophyse ou à un palier dans la décroissance, souvent même à une simple possibilité de crues en novembre ou décembre; le minimum le plus faible est celui d'hiver dans les Alpes (rivières descendues de 2.500 à 3.000 et 3.500 m. dans les Alpes du Sud: Giffre, Doron de Beaufort et Arly, Séveraisse, Guil, Ubaye), généralement celui d'été, tout au moins à la sortie des montagnes, dans les hautes Pyrénées (Garonne supérieure, Ariège, Neste, Salat, Haut Adour, Gave de Pau, etc...).

Régimes complexes changeants :

Parmi les cours d'eau soumis en France à de tels régimes, on peut distinguer :

- ceux qui, nivaux ou glaciaires vers leurs sources, ressentent ensuite de plus en plus fortement les effets d'une seule espèce de pluies, tels que les grandes rivières alpestres, d'allure nivale de transition (Isère, Drac, Durance) ou nivo-glaciaire de transition (Arve) avec très hautes eaux de juillet et d'août après le maximum de juin, tels aussi que la Garonne, dont le maximum se produit en juin vers la Maladetta, en mai à Toulouse et à Agen et en avril après le confluent du Lot;
- les cours d'eau qui subissent, outre l'influence nivale ou glaciaire, au moins deux modes d'alimentation pluviale, ce qui est le cas du Rhône, le fleuve français le plus complexe (voir le tableau ci-après).

Débits moyens du Rhône en m³/s

Stations	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Porte-du-Scex (1914-1938)	57	50	58	91	224	403	449	375	236	123	82	65
Peney (1905-1938)	216	205	237	285	394	563	612	553	375	258	238	226
Lyon (1877-1936)	500	500	610	705	730	775	800	715	600	590	585	570
Givors (1877-1936)	1160	1140	1230	1220	1100	1020	985	870	780	905	1120	1190
Valence (1877-1936)	1380	1370	1550	1640	1690	1670	1480	1210	1075	1255	1470	1500
Beaucaire (1877-1936)Stations	1800	1740	1970	2100	2185	2085	1640	1340	1280	1700	2020	1960

Quelques particularités des variations saisonnières:

On n'oubliera pas, en lisant cet annuaire, que les indications générales dégagées plus haut ne sont valables en toute rigueur que sur la moyenne d'une longue suite d'années, et qu'une année particulière peut toujours présenter certaines anomalies de régime.

Cependant, ces divergences elles-mêmes varient beaucoup selon les types. Plus une rivière éprouve l'influence nivale ou glaciaire, moins les moyennes mensuelles d'une ou de quelques années diffèrent de la courbe normale. Par exemple, un cours d'eau nival aura son maximum

tantôt en mai, tantôt en juillet, très rarement en août, au lieu de juin, date la plus fréquente; mais en somme, la courbe d'une année ne différera de celle de dix ou de cinquante ans que par des détails. Plus une rivière obéit aux pluies (en Europe tout au moins où celles-ci n'ont pas une répartition mensuelle fixe se reproduisant à peu de chose près chaque année) plus le régime d'une année particulière pourra s'écarter du régime moyen. Par exemple, dans le régime pluvial océanique, au lieu du maximum normal de janvier ou février, une année particulière pourra présenter son maximum n'importe quel mois d'octobre à avril.

De plus, pour les régimes pluviaux, les mois normaux d'abondance pourront comporter de vraies pénuries, lors de certaines années sèches, irrégularité que ne connaissent point, en saison chaude, les types nivaux et glaciaires. Seules, dans le régime pluvial ou pluvio-nival, les basses eaux d'été ne connaîtront pas d'exceptions majeures.

Les cours d'eau mixtes complexes auront dans leur alimentation pluviale un élément hydrologique très fantasque d'une année à l'autre, tandis que leur alimentation nivale constituera une base relativement stable.

Enfin, au-dessus des fluctuations constatées d'une année à l'autre, et d'un groupe d'années à un autre, il peut y avoir des transformations graduelles profondes de longue amplitude. Par exemple, depuis trois quarts de siècle, le recul des glaciers dans les Alpes et les Pyrénées, quelles que soient ses causes (moins de précipitation ou plus de chaleur), se traduit par une dégradation des régimes glaciaires ou nivaux, constatée en particulier sur les Gaves, l'Adour, la Garonne, le Haut Rhône, la Durance. Les débits de juin sont en décadence au moins relative par rapport à ceux de mai; ceux de juillet par rapport à ceux de juin; ceux d'août par rapport à ceux de juillet.

III. ÉTIAGES

On appelle étiages les très bas débits des cours d'eau. Ils se caractérisent soit par les minima extrêmes connus, soit par les débits maigres d'une certaine fréquence. Le critère le plus habituel en France est l'étiage caractéristique moyen, ou débit au-dessus duquel les eaux se tiennent en moyenne pendant 355 Jours par an.

Les étiages ont pour cause un déficit d'alimentation pluvial ou nival. Lorsqu'ils se produisent, les rivières ne vivent plus que grâce aux sources, c'est-à-dire aux réserves souterraines. Les étiages sont donc d'autant plus faibles que le déficit d'alimentation est plus prolongé.

La gravité des pénuries dépend de la nature du sol, mais plus encore de l'ensemble du type hydrologique saisonnier, car celui-ci détermine la régularité ou l'irrégularité de l'alimentation des nappes souterraines. Dans les types nivaux ou nivaux de transition, ou nivo-pluviaux pyrénéens, les minima caractéristiques moyens toujours très honorables varient entre 6 et 13 ou 15 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$. Ils sont plutôt compris entre 3 et 6 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ dans le type glaciaire où les nappes se garnissent pendant une période plus courte et s'épuisent durant plus de mois. Ils tombent à 5-8 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ dans le type nivo-pluvial à 2,5-4 dans l'espèce pluvio-nivale; à 1,5-3 dans la classe pluviale. Encore pour ces trois dernières catégories les chiffres deviennent-ils plus faibles. lorsque l'influence pluviale est méditerranéenne. Pour les cours d'eau complexes très compensés comme le Rhône, les étiages sont riches parce que presque toujours la pénurie due à une partie du bassin a pour contre-partie, au moins partielle, l'abondance relative due à une autre partie du bassin. Ainsi, les étiages caractéristiques atteignent sur le Rhône 13,3 aussitôt après le confluent de l'Arve, et encore 6,7 à Beaucaire. Le Rhin à Bâle (plus de 11) conserve aussi en étiage une remarquable abondance. Les réserves accumulées dans les lacs suisses contribuent à la bonne tenue de ces fleuves en basses eaux.

La Garonne, complexe mais non compensée en fin d'été, connaît des pénuries bien plus graves, quoique moins accentuées encore que celles de la Seine pluviale et de la Loire

pluviale ou pluvio-nivale.

Les étiages exceptionnels se caractérisent par les chiffres suivants pour nos quatre grands fleuves $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($0,77 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) sur la Seine à Paris et $55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Mantes; $18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($0,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) sur la Loire à Gien et $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Montjean après le Maine; $32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($1,6 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) sur la Garonne à Toulouse et $70 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($1,4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) à Tonneins ; $150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($7,7 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) pour le Rhône à Lyon et $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($4,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$) à Beaucaire, lors de la fameuse pénurie de 1921. Rappelons que le module brut de la Seine à Paris ($320 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) est encore inférieur à l'étiage extrême du Rhône à Beaucaire.

Les dates ordinaires des étiages correspondent le plus souvent à celles des plus faibles moyennes mensuelles de débits. Cependant, lorsque les sécheresses se prolongent au delà du temps habituel, l'étiage peut continuer et s'aggraver en des mois où les moyennes globales de débits sont élevées (Rhône moyen et inférieur en hiver et en automne, Garonne en octobre et plus rarement en novembre). C'est sur le Rhône français qu'on notera le contraste le plus curieux, durant la saison froide, entre la possibilité de crues très puissantes et celle d'étiages très profonds.

IV. CRUES

Dates :

Pour chaque type de régime, les crues les plus nombreuses ou les plus fortes surviennent à des dates bien déterminées qui ne coïncident pas toujours avec celles des hautes eaux moyennes en saison froide et surtout en hiver pour les cours d'eau pluviaux et pluvio-nivaux océaniques; en saison froide aussi, mais surtout en automne pour les rivières méditerranéennes et notamment du 10 septembre au 25 octobre pour les cours d'eau cévenols (Ardèche, Gardon, Hérault, Haut Tarn et Haute Loire, etc...); du 25 octobre au 15 novembre pour la Durance; en pleine saison chaude pour les rivières alpestres de type nival ou glaciaire pur; en des saisons diverses pour les cours d'eau complexes par exemple l'Isère moyenne et inférieure, l'Arve et le Drac ont leurs maxima les plus nombreux en mai-juillet; leurs inondations les plus fortes en juin-décembre pour l'Arve, en automne pour l'Isère et pour le Drac, de même pour la Durance moyenne et inférieure qui, d'autre part, monte très souvent en mai-juin et même en hiver. La Basse Garonne a des crues en tous mois, très exceptionnellement toutefois en été. Le Rhône éprouve presque tous ses gonflements en juillet-septembre avant le Léman, les deux tiers en saison froide après le confluent de l'Ain, avec une prépondérance de l'hiver (phénomènes océaniques) jusqu'au confluent de l'Isère, et de l'automne (phénomènes méditerranéens) au delà. En aval de l'Ardèche, plus de la moitié des maxima remarquables se groupe entre le 10 octobre et le 15 novembre. La Loire, le Tarn et le Lot dans leur cours moyen et inférieur ont des hautes eaux d'hiver du fait des pluies océaniques; mais des crues méditerranéennes où d'origine mixte parfois formidables peuvent survenir en automne et plus rarement en hiver (mars 1930 pour le Tarn par l'Agout). Il y a d'ailleurs des exceptions retentissantes comme le déluge du Tarn en juillet 1652, ou comme certaines inondations mémorables de plein été pour des rivières cévenoles, l'Aude et les cours d'eau des Pyrénées Orientales.

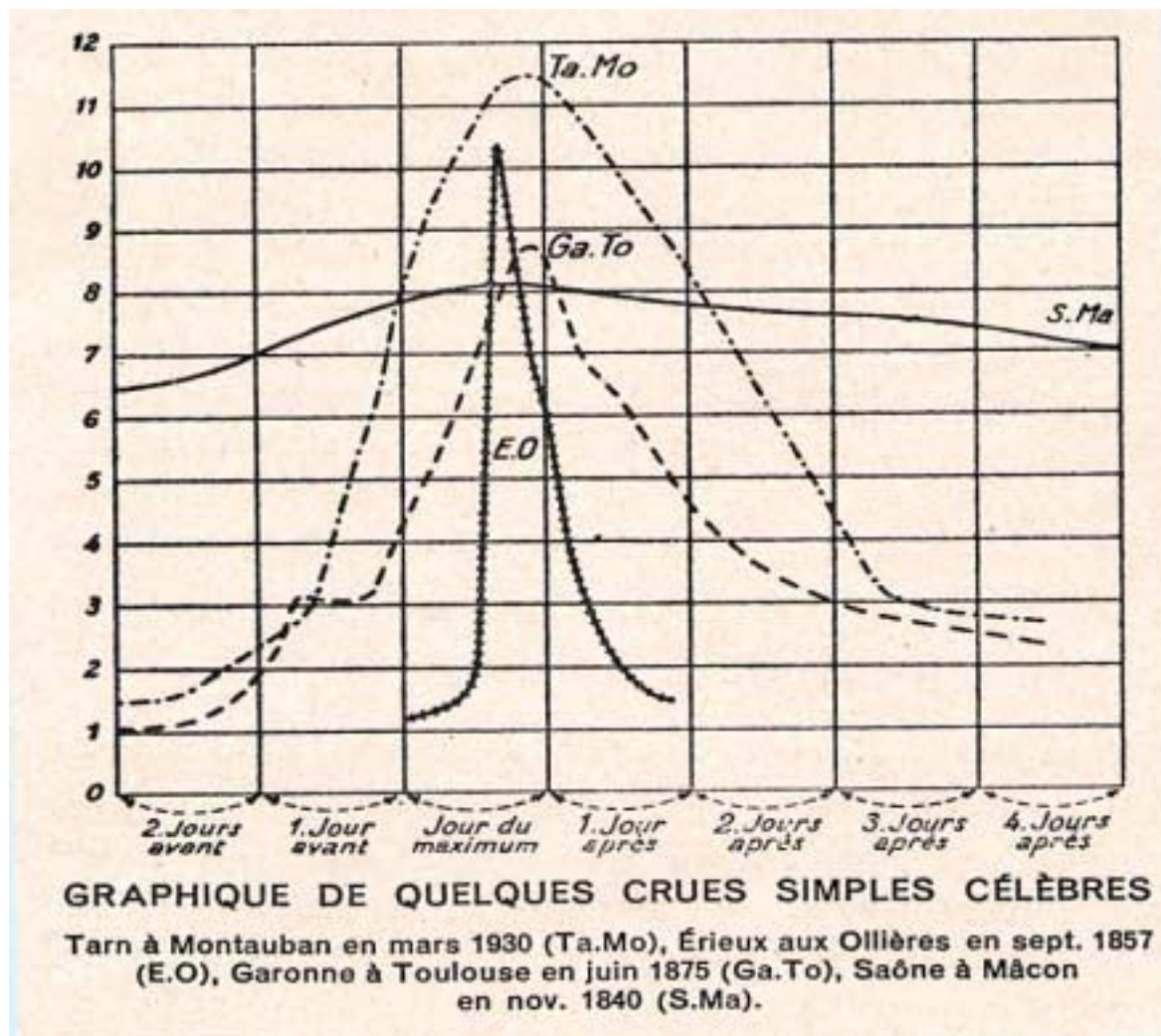
Propagation-Evolution :

L'évolution des crues comporte des durées-types lors des averses simples, à une seule phase. Ces durées ont pour facteurs à la fois la durée des averses, la distance depuis l'origine de la crue, la vitesse de propagation (celle-ci varie de 1,5-2 ou 2,5 km à l'heure sur la Seine et la Saône inférieures et moyennes à 10 ou 15 km à l'heure ou même plus dans les secteurs

montagneux très inclinés et avec faibles submersions). Les temps-types de croissance varient de un quart d'heure ou une demi-heure pour certains torrents à quelques heures pour le bas Erioux, 10 à 12 heures pour la basse Ardèche, 20 à 30 heures pour le Lot à Cahors et le Tarn à Montauban, un peu plus pour la Garonne à Toulouse, 2 à 3 jours pour le Rhône à Lyon, 9 à 10 jours pour la Saône à Lyon et la Seine à Paris.

Les crues complexes causées par plusieurs averses ont une durée plus longue.

Là où ces évolutions sont très rapides, les débits journaliers maxima cités dans cet annuaire peuvent être très inférieurs aux pointes réelles instantanées. La figure ci-dessus représente les évolutions de quelques crues célèbres.



Puissance :

Les débits spécifiques de crue en $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ sont d'autant plus élevés que les averses sont plus violentes, que les bassins sont plus petits et qu'ils sont drainés par un réseau plus ramifié et plus concentré. En outre, les pluies d'hiver bénéficient d'un coefficient d'écoulement plus fort puisque l'évaporation est alors réduite. Toutes choses égales d'ailleurs, elles produisent donc des crues plus fortes, à moins que la rétention nivale ne les affaiblisse en soustrayant au ruissellement une partie notable des bassins, ce qui a lieu dans les montagnes comprenant de fortes étendues supérieures à 1.200 ou 1.500 m.

Les pluies les plus concentrées surviennent en été et surtout en automne dans les régions méditerranéennes. Elles peuvent être si violentes (des centaines de millimètres en quelques

heures) qu'il en résulte des débits extraordinaires par exemple, en octobre 1940, dans le bassin du haut Tech, jusqu'à 40 ou $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour 10 km^2 , 30 à 35 pour 20 km^2 ; 12 à 13 pour 200 km^2 , 9 à 10 pour 350 km^2 ; dans le bassin de l'Ardèche, en septembre 1890, $7,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour 500 km^2 et $3,75$ pour 2.000 km^2 (7.500 m^3); $4,6$ pour l'Erieux inférieur (850 km^2) en septembre 1857. En octobre 1940, un affluent du Tech, la Coumelade, de 22 km^2 de bassin, a lâché des débits supérieurs aux plus forts débits connus de la Romanche qui draine 1.200 km^2 . Ces maxima extraordinaires peuvent être encore exagérés localement dans de fortes proportions par des ondes de débâcle après rupture d'obstacles derrière lesquels les eaux se sont accumulées. D'où les catastrophes fréquentes engendrées par les crues méditerranéennes.

Dans les domaines océaniques, ou pour de grands bassins, les débits maxima sont bien moins forts ; ils restent cependant très impressionnants pour certaines rivières à bassins montagneux. Par exemple $800 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ de la Garonne à Toulouse en juin 1875, pour 10.000 km^2 , $650 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ du Tarn à Montauban en mars 1930 pour une surface analogue, 1.000 ou $1.100 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ de l'Agout à la même date pour 3.400 km^2 . Citons, comme chiffres analogues $825 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour 2.692 km^2 de l'Ain à Bolozon, $700 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour les 3.670 km^2 de ce bassin tout entier en décembre 1918, 400 à $500 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ de surface ruisselante pour 10.000 à 11.000 km^2 de la Durance à Mirabeau, presque autant pour 9.169 km^2 du Lot à Cahors en mars 1783, $300 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour 32.500 km^2 de la Loire au Bec d'Allier en octobre 1846 et septembre 1866. Pour 50.000 km^2 , nulle part en France, les maxima n'atteignent $200 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Ils tombent à $142 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour les 29.900 km^2 de la Saône à Lyon en novembre 1840 (crue pourtant gigantesque) et à $60 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ pour les 44.000 km^2 de la Seine à Paris lors de l'inondation fameuse de janvier 1910.

Quant aux maxima absolus, les plus forts connus appartiennent à la Loire au Bec d'Allier et un peu en aval (9.000 à $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en octobre 1846, mai 1856, septembre 1866) ; à la Garonne à partir du confluent de l'Ariège (8.000 à $9.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ selon les lieux en juin 1875), au Tarn en aval de l'Aveyron ($8.300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en mars 1930), à l'Ardèche ($7.500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en septembre 1890) et surtout au Rhône ($9.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Valence en mai 1856, environ $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Avignon et 12.000 à $13.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ au confluent de la Durance en novembre 1840 et mai 1856). Rappelons que la Volga peut déborder $60.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Samara, le Rhin $11.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à Cologne, le Danube, nulle part plus de $18.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, semble-t-il.

Causes des crues :

Les crues surviennent à la suite de phénomènes météorologiques qui correspondent, la plupart du temps, à des types bien définis par la localisation des hautes et des basses pressions, le tracé des isobares, la direction des vents pluvieux, l'extension des averses et leur intensité locale souvent réglées par le relief.

Les crues océaniques classiques (décembre 1882 et 1918, janvier 1910, février 1928, etc...) ont pour cause la coexistence d'un anticyclone sur l'Espagne et d'une dépression entre l'Ecosse et la Norvège. Si ces centres sont un peu décalés vers le Sud, l'averse frappera plus les bassins situés au-dessous de la Loire (novembre 1906, janvier 1912, mars 1783 et 1927), et moins la moitié nord du pays. Mais de toutes façons, ces phénomènes peuvent grossir les rivières à la fois sur les trois quarts de la France et, en outre, en Belgique, en Allemagne occidentale et méridionale, sur le plateau suisse, etc... Le vent qui pousse alors les nuages est d'Ouest à Sud-Ouest.

C'est un courant à composante Nord-Ouest qui sévit lors des crues océaniques de type pyrénéen, lesquelles ont lieu surtout en mai et juin et frappent les Pyrénées, puis le Lannemezan et la Montagne-Noire.

Les crues méditerranéennes sont amenées par des vents pluvieux d'Est à Sud-Est qui rencontrent brutalement des courants frais d'Ouest à Nord-Ouest. Dans ce cas, la dépression,

fréquemment peu profonde, petite et ovale, passe ou stationne entre le centre de la France et la Catalogne et un anticyclone oriental englobe l'Italie et la mer Tyrrhénienne. Selon les positions respectives de l'un et de l'autre centres d'action, on a les crues cévenoles ou provençales (Var, Durance) ou languedociennes (Orb, Aude inférieure, Agout, Tam après l'Agout) ou roussillonnaises (Agly, Tet et Tech) ; ou, souvent encore, des phénomènes plus généraux combinant 2 ou 3 des sous-catégories précédentes; enfin, des averses générales mixtes à la fois méditerranéennes et océaniques et pouvant frapper une grande partie de la France (mai 1856, septembre 1866).

V. TRANSPORTS SOLIDES

Les transports solides sont d'autant plus intenses que le sol est plus tendre (argiles, marnes, grès décomposés, schistes friables, gypses, dépôts non encore cimentés d'origine torrentielle ou glaciaire), moins protégé par la végétation, plus accidenté, et soumis à des pluies plus drues.

Les transports annuels de boues ou troubles, éléments fins tenus en suspension, assez bien mesurables, montent jusqu'à 800, 1.000 tonnes et plus par km² de bassin et par an dans certains bassins alpestres et descendent au-dessous de 50 et de 20 tonnes par km² et par an dans les bassins océaniques de plaine ou de collines. Dans une année moyenne, la Durance débite à Mirabeau 12 à 15 millions de tonnes de boues par an, l'Isère à Romans 6 à 8 millions de tonnes, la Seine à Paris peut-être pas 1 million. Les Pyrénées, constituées de roches plus dures en général, donnent bien moins de troubles que les Alpes. Les transports de cailloux, très mal connus, paraissent susceptibles d'atteindre 200 à 400 tonnes par km² et par an dans les cours supérieurs des rivières de haute montagne, deux fois moins dans les cours moyens, très peu de chose plus en aval. Enfin, les chiffres annuels peuvent varier beaucoup, dans le même sens à peu près que les modules, mais bien plus fortement que ceux-ci ; par exemple, du simple au décuple pour les grandes rivières alpestres, et dans des proportions bien supérieures pour les cours d'eau qui drainent les petites montagnes méditerranéennes.

CONCLUSION

Le régime des cours d'eau français, malgré une abondance spécifique presque partout honorable et sur maintes rivières excellente, ne présente rien de grandiose, faute de vastes étendues. Il n'a point, cependant, partout la douceur qu'on attribue trop communément à tous les caractères géophysiques de notre pays. Notamment, les crues méditerranéennes sont, comme on l'a vu, des accidents extrêmement brutaux. L'hydrologie française présente par contre une variété remarquable de régimes saisonniers, rassemblant toutes les catégories possibles en Europe Occidentale et Centrale, avec des moyennes mensuelles maxima échelonnées depuis janvier jusqu'en août. Aucun trait ne pouvait être plus propice à une utilisation rationnelle de nos ressources en houille blanche, une fois réalisée l'interconnexion des centrales génératrices d'énergie électrique.

Extrait de : Annuaire hydrologique de la France, année 1939, préparé par la Société Hydrotechnique de France sous l'égide du Secrétariat d'état à la production industrielle, Imprimerie Chaix.