

SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE — PRIX HENRI-MILON 1972

# La Moselle et son bassin.

## Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique

par R. Frécaut

Docteur d'Etat, Professeur d'Hydrologie Continentale,  
Directeur du Laboratoire  
de Géographie Physique de l'Université de Nancy II.

La présente étude résume partiellement une thèse de doctorat d'Etat, préparée sous la direction de M. le Professeur A. Guilcher et soutenue devant l'Université de Bretagne occidentale à Brest le 21 octobre 1971 <sup>(a)</sup>.

Ce travail d'hydrologie comparée, qui doit beaucoup au regretté Professeur Maurice Pardé de Grenoble, avait pour but de dégager l'appartenance de la Moselle au domaine tempéré océanique, mais également de préciser l'originalité du cours d'eau par rapport à de nombreux organismes fluviaux de régions de plaines et de plateaux, du fait de la relative continentalité du climat et de l'influence montagneuse, sensible à l'aval comme à l'amont du bassin.

On s'attachera ici plus spécialement au caractère hydrologique fondamental de la Moselle et des autres cours d'eau océaniques : la variabilité ou mieux l'irrégularité qui régit l'abondance moyenne annuelle, le régime saisonnier, les extrêmes, étiages et crues. Cette irrégularité du régime tient à la variabilité des précipitations, elle-même fonction de l'instabilité des types de temps en milieu océanique.

Par ailleurs, une analyse globale des caractères géophysiques du bassin de la Moselle a permis de confirmer le trait essentiel de la dynamique fluviale en milieu tempéré océanique, la prédominance des transports en solution qui traduit une érosion chimique non négligeable. Les transports en solution, de même que les transports en suspension, sont soumis à des variations saisonnières importantes par suite de l'irrégularité de l'écoulement liquide saisonnier. Les transports de fond sont éminemment discontinus et ne sont réalisés qu'en période de crue.

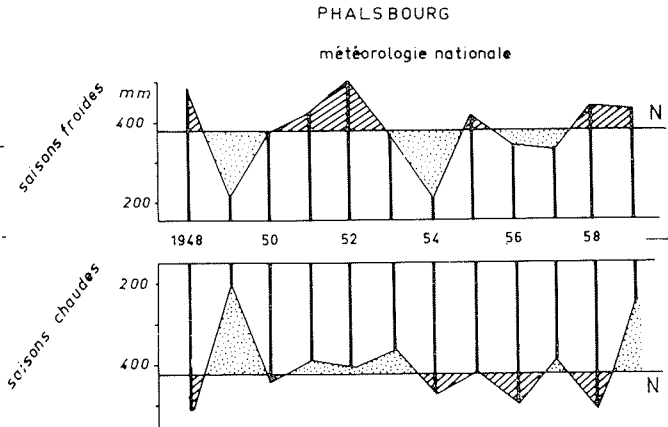
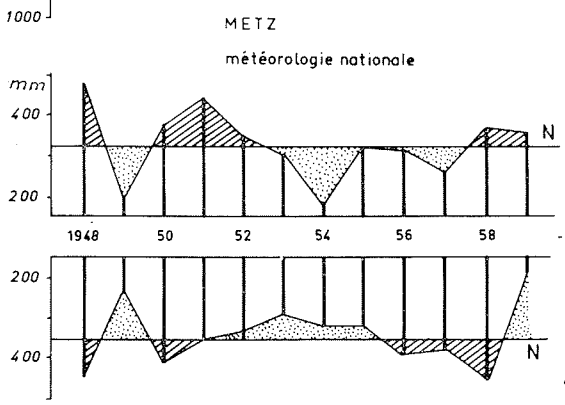
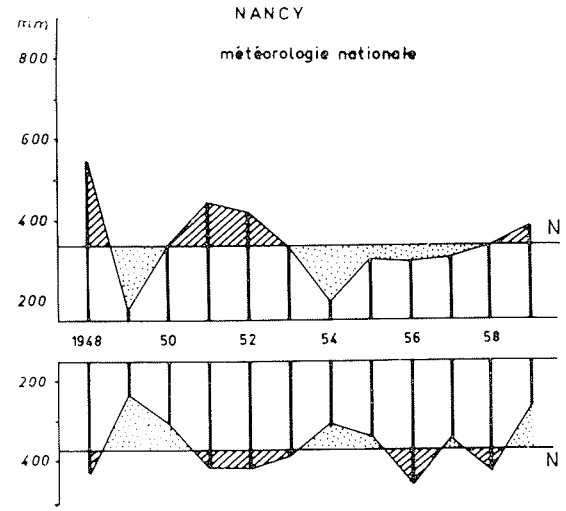
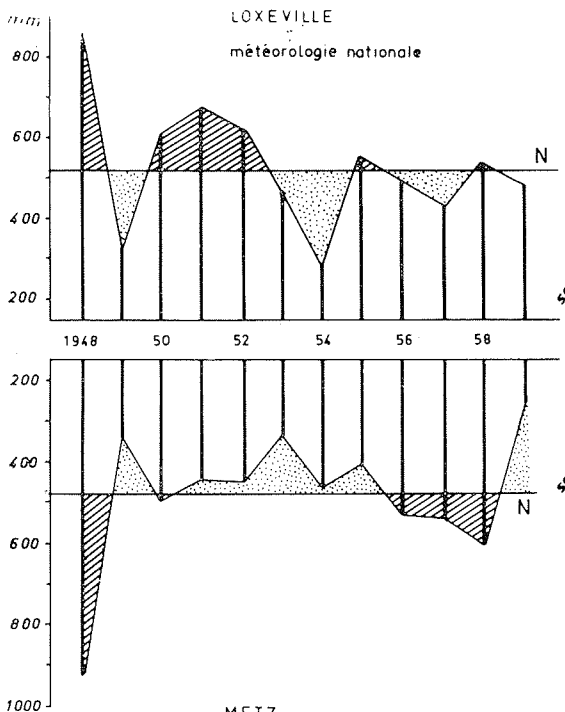
### 1. — L'irrégularité des précipitations et l'instabilité des types de temps en milieu tempéré océanique

L'irrégularité qui caractérise l'écoulement fluvial en milieu océanique tient, avant tout, à la très grande variabilité interannuelle et intersaisonnière des précipitations. Depuis 1891, les années 1895, 1910, 1914, 1916, 1922, 1930, 1939, 1940, 1948, 1952 et 1958 ont connu une pluviosité élevée. D'autre part, tout comme l'année 1921 remarquablement sèche, 1929, 1933, 1934, 1938, 1947, 1949, 1953, 1959 et 1964 ont été des années à faible pluviosité. De plus, les décennies récentes 1911-1920, 1921-1930 et 1931-1940 ont été marquées par une assez forte pluviosité, alors que la décennie 1941-1950, et plus particulièrement la période 1942-1949, a été très sèche, à l'exception toutefois de l'année 1948.

Mais ces fluctuations de la pluviométrie annuelle, traduisant l'existence d'oscillations climatiques dites brèves, sont en fait très irrégulières puisqu'on relève des années à très faible pluviosité : 1921, 1929, 1933, 1934 et 1938 en pleine période réputée humide ou au contraire faisant suite à une série d'années sèches, telle l'année 1948. Années humides et années sèches se succèdent donc apparemment de façon désordonnée, sans qu'il soit possible de dégager une quelconque périodicité.

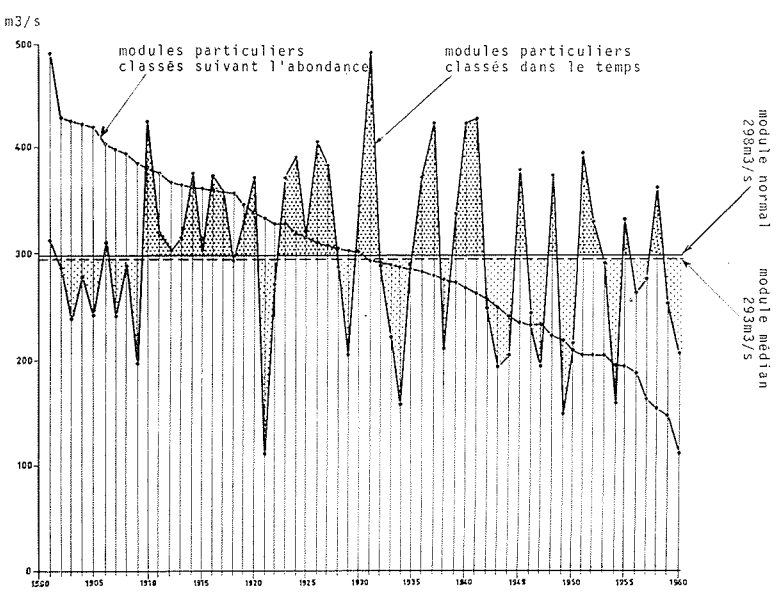
Une analyse plus fine à l'échelle des saisons révèle également une grande variabilité dans la répartition temporelle des précipitations. La succession de saisons froides (novembre-avril) et chaudes (mai-octobre), humides ou sèches, est elle-même fort irrégulière; tous les types de combinaisons sont réalisés. Les grandes années humides, comme 1958, ont

<sup>(a)</sup> Le texte intégral de la thèse de M. R. Frécaut a été publié par le Service de reproduction des Thèses d'Etat de l'Université de Lille III, en 1972. L'ouvrage, qui peut être consulté dans toutes les Bibliothèques Universitaires, comporte 840 pages, 73 tableaux, 122 figures et 2 cartes hors-texte.



N : Normale

1/ Saisons humides et saisons sèches en quelques stations du bassin de la Moselle (1948-1959).



2/ Variations des modules particuliers de la Moselle à Cochem (1901-1960).

vu se succéder une saison froide et une saison chaude très pluvieuses, alors que les années à pluviosité moyenne, comme 1956, ont comporté des saisons à caractères pluviométriques diamétralement opposés (fig. 1). Enfin, les deux saisons peuvent être uniformément sèches, ce fut le cas en 1949 et en 1953; l'année entière connaît alors une très faible pluviosité.

Cette grande diversité des types saisonniers de pluviométrie et leur regroupement varié au cours de l'année hydrologique complique singulièrement l'analyse des bilans de l'écoulement d'années particulières en milieu tempéré océanique<sup>(b)</sup>.

L'irrégularité du climat océanique, entraînant des fluctuations pluviométriques et thermiques décisives pour l'écoulement fluvial, est liée de toute évidence à l'instabilité fondamentale des types de temps. L'étude des types de temps et de leur durée effective revêt ainsi le plus grand intérêt en hydrologie océanique. Les types de temps perturbés d'origine maritime dominant en toutes saisons, mais leur durée moyenne est brève (2,6 jours), tout comme celle des types de temps anticycloniques (2,5 jours).

Certains types de temps peuvent néanmoins présenter une relative stabilité et leur durée exceptionnelle, dépassant largement dix jours, implique des conséquences hydrologiques de première importance. La stabilité peu fréquente de « types de temps à crues », par courants perturbés d'ouest-sud-ouest, est à l'origine, surtout en saison froide, d'épisodes pluvieux et donc de séries d'averses durables génératrices de crues généralisées.

La persistance en saison froide de types de temps anticycloniques continentaux, indigènes ou allogènes, est responsable de vagues de froid, caractérisant les « grands hivers » souvent secs et provoquant le gel du sol, la formation de glaces fluviales et des étiages atténués mais originaux. De même, lors de certains « grands étés », des types de temps anticycloniques continentaux et relativement stables déterminent un fort déficit pluviométrique et une évapotranspiration exceptionnelle, d'où une sécheresse marquée et des étiages plus graves qu'en hiver.

## 2. — Les variations interannuelles de l'abondance des cours d'eau océaniques

La variabilité de l'abondance de la Moselle n'a pu être mise en évidence qu'à la station de Cochem, située à l'aval du bassin (27 100 km<sup>2</sup>), car seule cette station possède une série de débits assez longue et remontant à 1901. Cette variabilité de l'abondance de la Moselle inférieure, qui atteint 298 m<sup>3</sup>/s en année moyenne, dépend directement de l'irrégularité interannuelle des précipitations sur le bassin.

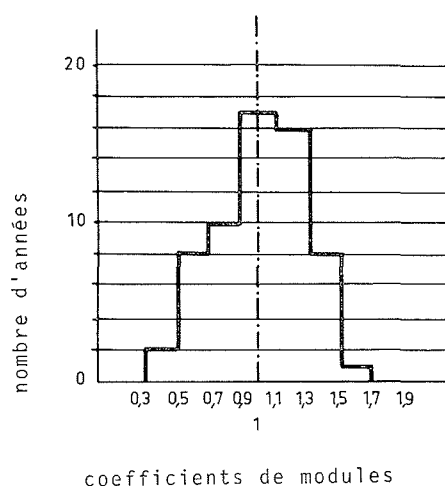
Les variations des modules ou débits moyens annuels particuliers permettent de déceler des années de surabondance ou d'indigence fluviale (fig. 2). L'irrégularité de

l'abondance mosellane est toutefois moins forte que pour la plupart des cours d'eau océaniques des régions exclusivement de plaines. Le rapport des modules extrêmes ou coefficient d'immodération n'atteint que 4,4 pour la période 1901-1960, alors qu'il s'élève fréquemment de 5 à 10 en milieu océanique extramontagnard : 5,4 pour la Tamise à Teddington, 7,5 pour la Loire à Montjean, 8 pour la Seine à Paris. De même, le coefficient de variation très modéré de la Moselle inférieure, 0,27, est plus faible que celui de la plupart des cours d'eau océaniques : 0,31 pour la Loire à Blois, 0,36 pour la Seine à Paris, 0,37 pour la Tamise à Teddington.

L'histogramme des modules particuliers de la Moselle à Cochem, établi dans le cadre de l'année hydrologique retenue, révèle une légère tendance à la dissymétrie, moins nette cependant que dans le cas de la Loire à Blois étudié par P. Bois. Certes, la plus grande fréquence caractérise les modules voisins de la moyenne globale (0,9 à 1,1), mais les modules légèrement supérieurs à cette moyenne (1,1 à 1,3) ont une fréquence à peine moindre (fig. 3).

Les variations dans le temps des modules globaux confirment cette immodération seulement relative de la Moselle<sup>(c)</sup>. Les fluctuations des modules globaux partiels, correspondant à une décennie au plus, sont modérées. A Cochem, la décennie 1911-1920, très pluvieuse, a été ainsi la plus abondante avec un excédent de 12 % seulement et la décennie 1941-1950, très sèche, a été la plus indigente avec un déficit ne dépassant pas 13 %. Cependant, pour des périodes de référence plus brèves, les écarts par rapport au module global ou normal s'accroissent : anomalie positive de 13 % de 1923 à 1930, anomalie négative de 18 % de 1942 à 1949, mais ils restent inférieurs d'au moins 10 % aux écarts notés pour

(c) Un régime fluvial est dit modéré ou pondéré selon M. Pardé quand les écarts entre les valeurs extrêmes des débits annuels, mensuels ou journaliers sont faibles. Un régime est dit régulier quand les variations saisonnières, excessives ou non, se reproduisent de façon identique tous les ans.



3/ Histogramme des modules particuliers de la Moselle à Cochem (1901-1960). Type de distribution légèrement dissymétrique. Année hydrologique de novembre à octobre.

(b) L'année hydrologique de novembre à octobre, adoptée par les hydrologues allemands, a été retenue. Elle recouvre parfaitement l'année climatique et elle tient compte aussi des réserves hydrologiques et de leurs variations. Enfin, une telle année se révèle comme une des meilleures dans une conception purement statistique.

de nombreux cours d'eau océaniques de plaines. Le déficit d'abondance entre 1942 et 1949 a été ainsi de 24 % pour la Tamise à Teddington, de 30 % pour la Seine à Paris et la Loire à Blois.

Les variations des modules globaux, correspondant à plusieurs décennies, sont encore plus faibles. Elles traduisent, elles aussi, l'existence de phases alternantes d'abondance et d'indigence fluviale, qui peuvent être rapprochées des fluctuations interannuelles de la pluviométrie, sans qu'on puisse parler pour autant d'une quelconque périodicité.

### 3. — L'irrégularité interannuelle du régime pluvial océanique

Le régime saisonnier moyen de la Moselle inférieure à Cochem, résultante de diverses nuances régionales, est typiquement pluvial océanique, teinté pourtant d'une légère influence nivale. La période de hautes eaux couvre l'ensemble de la saison froide et le maximum moyen mensuel se situe en janvier. La saison chaude est caractérisée par des basses eaux et le minimum moyen mensuel est atteint en août. Ce régime saisonnier de la Moselle est en réalité fort irrégulier, comme celui de tous les cours d'eau océaniques, et il connaît des modifications notables selon les années ou les groupes d'années, liées à la variabilité des précipitations.

Les modifications des variations saisonnières des débits selon les années ressortent, tout d'abord, des valeurs élevées du rapport des moyennes mensuelles extrêmes particulières. A Cochem, de 1901 à 1960, ce rapport atteint 22,5 en décembre, 11,7 en janvier, 14 en février... 13,3 en juillet, 9,3 en août..., soit des valeurs inférieures cependant à celles enregistrées pour la Loire inférieure à Montjean. Par ailleurs, la répartition effective de ces moyennes extrêmes est très irrégulière. Le maximum mensuel peut survenir pratiquement en n'importe quel mois de saison froide, de novembre à avril, avec néanmoins une fréquence plus grande en janvier, tout comme le minimum mensuel peut correspondre à tout mois de saison chaude, de mai à octobre, avec une probabilité plus élevée en août.

De plus, la distribution statistique des diverses moyennes mensuelles particulières accuse une très grande dispersion de valeurs (fig. 4) et l'écart notable entre la moyenne et la médiane en chaque mois souligne lui aussi l'irrégularité des variations saisonnières des débits.

D'un groupe d'années à l'autre, on note également pour les débits moyens de chaque mois une grande variabilité, variabilité d'autant moins prononcée que l'on considère des suites d'années plus longues. D'une décennie à l'autre, le régime saisonnier de la Moselle change de physionomie et de sérieux décalages s'observent dans les dates des maximums et des minimums. Au cours des six décennies de 1901 à 1960, le maximum a été ainsi relevé quatre fois en janvier, une fois en février et en mars; de même, le minimum moyen décennal s'est placé trois fois en août, deux fois en septembre et une fois en juillet.

Le régime saisonnier de la Moselle inférieure est pourtant, en ce cas encore, moins irrégulier que celui de la Loire inférieure, du fait d'une influence montagnarde et nivale sensible jusqu'à l'aval du bassin.

### 4. — Les étiages de saison chaude et de saison froide en milieu tempéré océanique. Leur extrême irrégularité

Tout comme les crues, les étiages soulignent le mieux le degré d'irrégularité propre au régime des cours d'eau océaniques. Phénomènes « accidentels », ils dépendent pour l'essentiel de la variabilité des précipitations, en l'occurrence d'une pénurie grave de l'alimentation pluviale.

L'analyse des étiages ne peut se limiter à l'utilisation des simples valeurs minimales des hauteurs d'eau et des débits, car elles permettent au mieux d'apprécier la profondeur absolue des étiages. La détermination de la durée et de l'évolution des étiages implique d'autres critères plus significatifs: débits caractéristiques d'étiages, débits moyens mensuels minimaux, débits moyens pendant des périodes homogènes de très basses eaux.

La date, la gravité et la longue durée des étiages estivaux découlent de conditions climatiques et hydrologiques très particulières et propres aux « grands étés » chauds et secs. Les apports limités des nappes aquifères du bassin compensent faiblement les effets de l'indigence pluviale durable doublée d'une intense évapotranspiration.

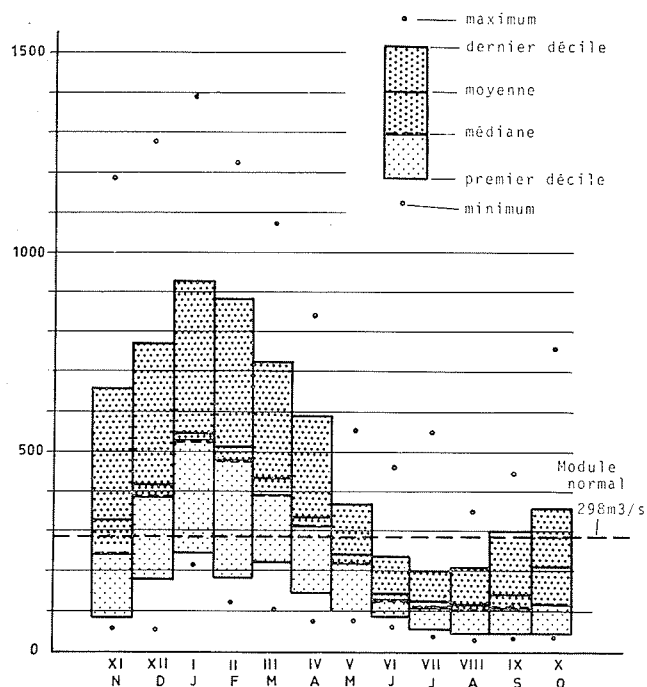
L'insuffisance des données hydrométriques n'a pas permis de préciser la fréquence et la probabilité de ces étiages. On peut simplement noter que, du moins au  $xx^e$  siècle, la fréquence des étiages de saison chaude est plus grande dans la série des années à faible pluviosité postérieures à 1941: 1947, 1949, 1953, 1959, 1963 et 1964, que dans la phase antérieure plus humide de 1911 à 1940, au cours de laquelle on ne relève de graves étiages qu'en 1911 et en 1921.

Le débit minimal brut connu de la Moselle inférieure à Cochem se serait abaissé à 20 m<sup>3</sup>/s en août 1964, soit une valeur spécifique de 0,71 l/s/km<sup>2</sup> et assez proche de celle enregistrée pour la Loire inférieure et la Seine. La fréquence des étiages estivaux est, au total, assez élevée en milieu tempéré océanique, mais aucune périodicité ne se dessine vraiment.

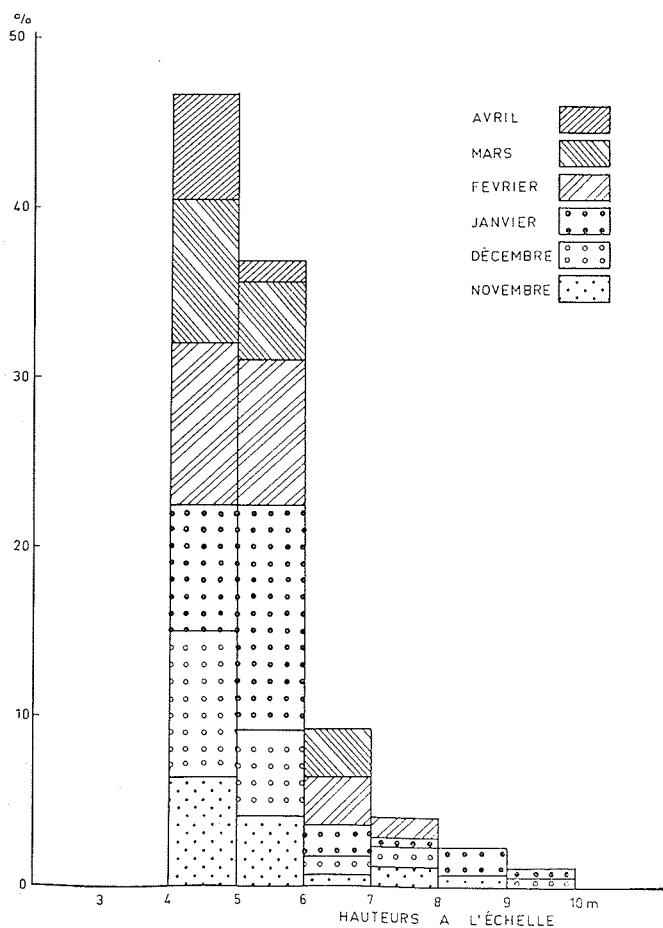
Les étiages de saison froide de la Moselle sont un peu moins fréquents que ceux d'été au  $xx^e$  siècle: hivers 1928-1929, 1946-1947, 1955-1956 et 1962-1963. Moins graves et moins durables que les étiages estivaux, ils sont néanmoins très originaux. Ils se développent lors des « grands hivers » froids et secs responsables également de la formation des glaces fluviales. Des apports en eaux souterraines non négligeables et un déficit pluviométrique moins élevé qu'en saison chaude expliquent leur moindre gravité. Le débit minimal brut de la Moselle inférieure n'est ainsi tombé qu'une seule fois à 55 m<sup>3</sup>/s depuis le début du siècle, en février 1963, soit un débit spécifique de 2,03 l/s/km<sup>2</sup>.

### 5. — Les crues de saison chaude et de saison froide en milieu tempéré océanique. Leur fréquence variable

Les crues estivales et hivernales, quant à elles, illustrent de façon beaucoup plus spectaculaire et souvent plus dramatique que les étiages le caractère irrégulier de l'écoulement fluvial dans les bassins océaniques.



4/ Irrégularité interannuelle des débits moyens mensuels de la Moselle à Cochem (1901-1960).



5/ Fréquence moyenne annuelle et mensuelle des crues de la Moselle à Cochem en saison froide (1886-1965).



Les averses orageuses de saison chaude, localisées dans l'espace, peuvent entraîner des crues d'une certaine gravité, mais limitées à de petits bassins et donc sans influence sur les grands organismes fluviaux. Les averses cycloniques de saison chaude, plus durables et plus extensives, engendrent des crues généralisées à l'ensemble du bassin mosellan, mais qui n'atteignent que rarement la gravité des gonflements fluviaux d'hiver.

Les crues locales de saison chaude, dues à des averses n'excédant pas généralement 30 à 40 mm, sont plus fréquentes que les crues générales, de l'ordre de 5 à 10 suivant les années, et elles se produisent tant en plaine qu'en montagne surtout au cœur de l'été, en juin, en juillet et en août. Elles peuvent provoquer des inondations localisées mais très brutales.

Les crues générales de la Moselle en saison chaude diffèrent sensiblement des crues similaires d'hiver; elles sont plus lentes, moins puissantes et elles n'entraînent le plus souvent que des débordements limités.

Ces crues générales d'été sont néanmoins assez fréquentes, mais surtout au début et à la fin de la saison chaude, en avril-mai, en juin, en septembre, en octobre, rarement en juillet, jamais en août. La plupart des crues inventoriées à la station de Cochem de 1818 à 1885 et surtout de 1886 à 1965 ont été médiocres ou moyennes au plus<sup>(d)</sup>. Sur les 33 crues retenues au cours des 80 dernières années, une seule a atteint 7 m à Cochem, celle d'octobre 1930. La crue récente de mai 1970 a été plus grave avec 7,36 m, soit un débit de pointe de 2 740 m³/s. La puissance exceptionnelle de cette crue de début de saison chaude, la plus forte depuis 1818, tint à une conjonction vraiment remarquable des facteurs pédologiques, biogéographiques et surtout pluviométriques.



L'irrégularité du phénomène de crue ressort encore mieux en saison froide et le rôle des épisodes pluvieux et des averses durables génératrices de ces gonflements fluviaux apparaît alors comme décisif.

La fréquence moyenne annuelle des crues de la Moselle à Cochem en hiver est assez forte et plus élevée qu'en saison chaude. De 1818 à 1965, le cours d'eau a connu 262 crues véritables supérieures à 4 m en 148 ans, soit une fréquence moyenne de 1,8; au cours de la période récente 1886-1965,

(d) La puissance d'une crue peut se définir à partir de plusieurs critères numériques : cote maximale, débits maximaux brut et spécifique, volume total d'eau écoulé, coefficient d'écoulement des précipitations. Un coefficient de crue proposé par M. Pardé, mettant en relation le débit maximal brut et la racine carrée de la superficie du bassin, permet d'apprécier cette puissance.

Un classement des crues de la Moselle inférieure à Cochem a été établi en fonction de leur puissance (cote et débit brut maximaux) et des caractères des lits apparent et majeur (débit « à plein bord » atteint à 3 m). Les crues de 4 à 6 m (1 065 à 1 935 m³/s) sont considérées comme médiocres. De 6 à 7 m (1 935 à 2 510 m³/s), elles sont seulement moyennes. Les crues deviennent véritablement graves, avec des débordements importants, quand la cote maximale oscille entre 7 et 8 m (2 510 à 3 190 m³/s). Les crues sont très graves quand le niveau maximum des eaux se tient entre 8 et 9 m (3 190 à 3 920 m³/s). Les crues dépassant 9 m sont catastrophiques et la Moselle véhicule en pointe souvent plus de 4 000 m³/s.

174 crues ont dépassé 4 m à la station, soit une fréquence moyenne de 2,1.

On observe néanmoins de très grandes variations dans la fréquence moyenne annuelle et mensuelle de ces crues hivernales, si l'on tient compte de leur puissance effective (fig. 5). De 1886 à 1965, la fréquence annuelle des crues médiocres est élevée, de l'ordre de 1 pour les montées comprises entre 4 et 5 m et de 0,8 pour celles qui oscillent entre 5 et 6 m. La Moselle éprouve ainsi en moyenne chaque année une crue de plus de 4 m et pratiquement aussi une crue dépassant 5 m. Les crues supérieures à 4 m représentent 45,6 % des cas et celles de plus de 5 m 36,8 % du total. Les crues dépassant 4 m se produisent surtout en février et les crues de plus de 5 m sont les plus fréquentes en janvier, mais tous les mois de saison froide peuvent enregistrer de telles crues.

Les crues moyennes, dont les cotes sont comprises entre 6 et 7 m, sont moins nombreuses (9,2 % des cas) et leur fréquence moyenne annuelle est moindre, voisine de 0,2. De telles crues ne s'observent en moyenne que tous les cinq ans. Leur fréquence mensuelle la plus élevée se situe assez curieusement en février et en mars, au cours de la période de référence 1886-1965, mais on ne note aucune montée semblable en avril. Les crues graves, dont les cotes varient entre 7 et 8 m, sont peu fréquentes, 0,09 par an, et elles ne se renouvellent en moyenne que tous les dix ans. Elles ne constituent, d'ailleurs, que 4 % du total des crues recensées. Elles sont caractéristiques de novembre, de décembre et février, secondairement de janvier<sup>(\*)</sup>.

Les crues très graves, supérieures à 8 m et inférieures à 9 m, ne représentent que 2,3 % des cas. Leur fréquence moyenne annuelle est encore plus faible, de l'ordre de 0,05, et elles ne se renouvellent en moyenne que tous les vingt ans et spécialement en janvier. Quant aux crues dépassant 9 m à Cochem, elles sont vraiment exceptionnelles. On n'en compte que deux depuis 1886 et en réalité depuis 1818, en cent quarante-huit ans donc. Leur fréquence moyenne annuelle est très faible, voisine de 0,01. De tels cataclysmes n'ont lieu théoriquement que tous les cent ans au plus.

La fréquence annuelle effective de ces crues de puissances diverses varie en réalité selon les groupes d'années considérés. Depuis 1886, certaines séries d'années ont subi dans le bassin de la Moselle un nombre anormalement élevé ou faible de montées graves ou très graves. C'est ainsi que de 1886 à 1910, aucune crue n'a atteint 7 m ou 2 510 m<sup>3</sup>/s à la station de Cochem, alors que les deux décennies suivantes, de 1911 à 1920 et de 1921 à 1930, ont été riches en crues graves ou très graves (janvier 1918, décembre 1919-janvier 1920, novembre 1924) et même catastrophiques (janvier 1920 et décembre 1925-janvier 1926). La montée de décembre 1925-janvier 1926, qui atteignit la cote de 9,24 m et qui écoula un maximum de 4 100 m<sup>3</sup>/s à l'issue du bassin, a été la plus remarquable depuis 1818 et en fait depuis 1784.

De 1931 à 1945, la Moselle inférieure n'a dépassé que deux fois la cote de 7 m à Cochem, en novembre 1930 et en janvier 1941. Dans la suite des années postérieures à 1945, le cours d'eau a enregistré plusieurs crues graves ou

(\*) On remarque que, comme dans le cas de la Loire étudié par M. Pardé, les lois principales de la fréquence mensuelle ne sont pas nécessairement les mêmes pour des crues de puissance différente. Les crues les plus graves ont tendance à se regrouper en novembre, décembre, janvier et parfois février, et à éviter le mois de mars, riche en crues moyennes ou médiocres.

très graves en décembre 1952, en décembre 1947-janvier 1948 avec un maximum de 3 740 m<sup>3</sup>/s, en janvier 1955 avec un maximum de 3 430 m<sup>3</sup>/s et en février 1958.

Il n'existe donc pas de liens étroits entre les variations effectives de la fréquence des crues graves ou très graves de la Moselle et les fluctuations interannuelles des précipitations. Si certaines crues se produisent indéniablement lors d'années ou de groupes d'années à forte pluviosité, d'autres, au contraire, surviennent en pleine période de sécheresse, telle la crue de décembre 1947-janvier 1948 tristement célèbre sur le Plateau Lorrain. Comme dans le cas de la Loire ou de la Seine, l'irrégularité fondamentale du phénomène de crue est dûe avant tout au caractère foncièrement instable des « types de temps à crue » et il serait excessif de prétendre déceler une quelconque périodicité<sup>(1)</sup>.

La conjonction, assez exceptionnelle il est vrai, d'étiages de saison froide, lors de l'hiver 1946-1947, d'étiages de saison chaude durant l'été de 1947 et de crues très puissantes au cours de l'hiver 1947-1948 témoigne parfaitement de l'irrégularité foncière du climat et des régimes fluviaux en milieu tempéré océanique.

## 6. — Les transports solides fluviaux en milieu tempéré océanique. Leur variabilité respective

Dans une optique plus large de géographie physique, ont été précisés les caractères originaux de la dynamique fluviale en milieu océanique de plaines, de plateaux et de moyenne montagne : l'importance respective de chacun des types de transports solides et leur variabilité intersaisonnière. Les résultats analysés, portant sur des mesures effectuées de 1964 à 1965, puis de 1969 à 1970 dans le bassin de la Moselle, ont confirmé largement les données déjà acquises dans d'autres bassins fluviaux.



Les transports en solution prédominent dans tous les secteurs du bassin, quelque soit leur nature lithologique; ils représentent près de 90 % des transports solides totaux. Faible dans les bassins cristallins et gréseux des Vosges (40 à 50 mg/l), la salinité naturelle des eaux est plus forte dans les bassins calcaires et marno-calcaires du Plateau Lorrain (200 à plus 600 mg/l) (fig. 6). Les valeurs élevées de la dégradation spécifique, variant de 50 à plus de 300 t/km<sup>2</sup>/an, tout comme dans les bassins de la Seine, de la Loire ou du Neckar, confirment que dans le domaine tempéré océanique les régions calcaires et marno-calcaires connaissent une érosion chimique non négligeable.

Mais dans les secteurs moyen et inférieur du bassin de la Moselle, les eaux de la Meurthe, de la Seille et de la Sarre

(1) On conçoit ainsi les risques qu'il y aurait à vouloir utiliser ces données fragmentaires concernant la fréquence en vue d'une prévision scientifique des crues. On peut simplement dire que le débit maximal de la crue moyenne annuelle oscille entre 1 000 et 2 000 m<sup>3</sup>/s, que celui de la crue quinquennale (probabilité 0,2) varie de 2 000 à 2 500 m<sup>3</sup>/s, que celui de la crue décennale (probabilité 0,1) ne dépasse pas 3 200 m<sup>3</sup>/s, que celui de la crue cinquantenaire (probabilité 0,02) est inférieur à 3 900 m<sup>3</sup>/s et que celui de la crue centenaire (probabilité 0,01) dépasse largement cette valeur.

sont polluées par les effluents chlorurés des salines et des soudières. La Moselle, dont la salinité moyenne annuelle est supérieure à 500 mg/l à Coblenze, aggrave par ses apports en sels la pollution chimique des eaux du Rhin. La recherche en dynamique fluviale ne peut donc ignorer ce problème de pollution qui limite singulièrement son champ d'investigation.

Par ailleurs, les transports en solution sont continus tout au long de l'année et ils ne sont soumis qu'à des variations saisonnières modérées, moins marquées que celles des débits liquides (7). La salinité des eaux fluviales est plus faible en hiver et les valeurs mensuelles minimales sont mesurées au cœur de la saison froide. D'autre part, c'est au cours de la période des étiages estivaux de 1964 qu'ont été observées les valeurs maximales de la salinité, qui a dépassé parfois

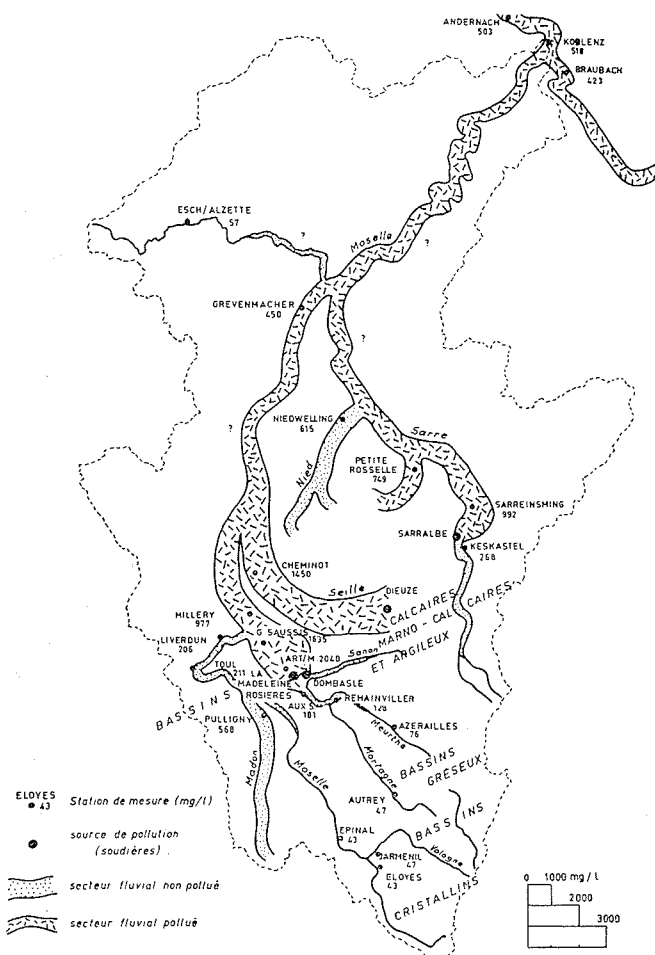
1 g/l (fig. 7). Le rôle secondaire ou prédominant dans l'alimentation fluviale des apports en eaux souterraines, riches en substances dissoutes, explique pour une bonne part cette évolution des transports en solution, qui va en sens inverse de celle des débits liquides et des transports en suspension.



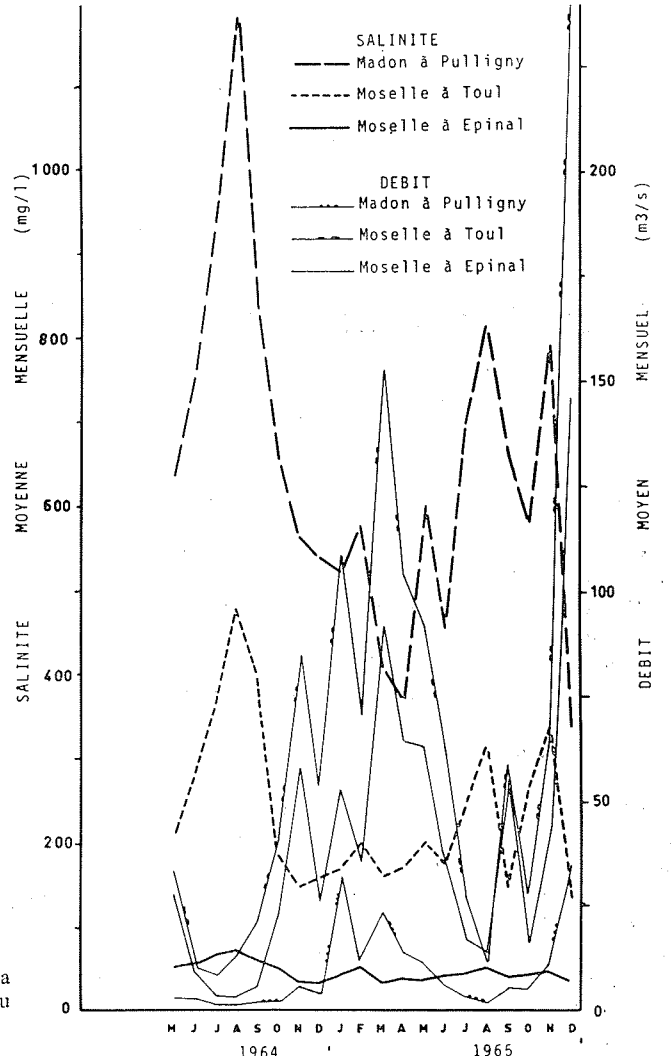
Les transports en suspension de matériaux fins, argiles, limons, parfois même sables très fins, sont plus faibles et plus variables dans le bassin mosellan, du moins dans les secteurs fluviaux qui ne sont pas affectés par la pollution minérale, due aux rejets de schlamms ou boues de charbon dans les eaux de la Rosselle, affluent de la Sarre, par les Houillères du Bassin de Lorraine. Cette pollution minérale des eaux de la Sarre gagne les eaux de la Moselle, puis celles du Rhin en aval de Coblenze (fig. 8).

La turbidité naturelle des eaux fluviales est fonction des possibilités de l'érosion hydrique sur les versants, réduite

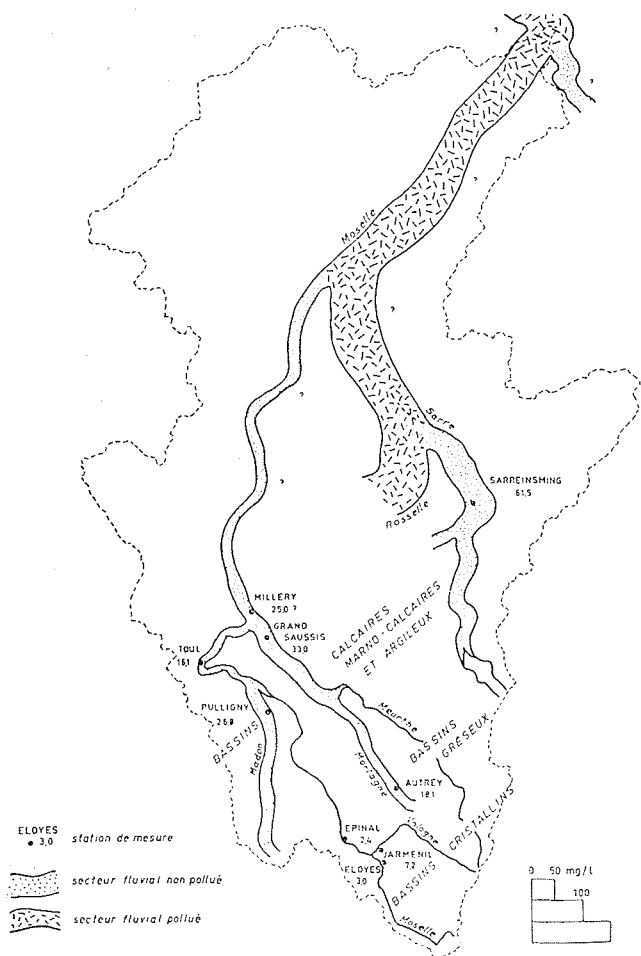
(7) Le rapport des valeurs mensuelles extrêmes de la salinité au cours des années 1964-1965, n'a été en effet que de 2 en milieu cristallin et gréseux, de 3 à 4 en milieu calcaire et marno-calcaire, alors que le coefficient d'irrégularité de l'écoulement contemporain s'est élevé à 20 ou plus.



6/ Salinité moyenne annuelle des eaux naturelles et polluées dans le bassin de la Moselle (1965).

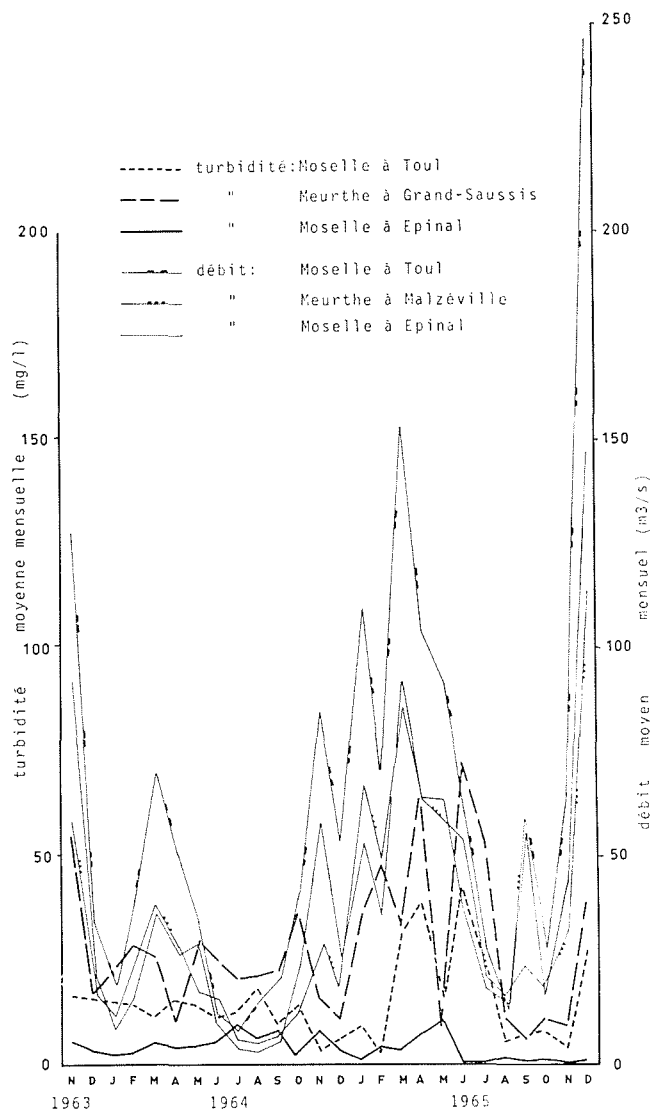


7/ Variations saisonnières des débits liquides et de la salinité naturelle des eaux en quelques stations du bassin de la Moselle (1964-1965).



8/ Turbidité moyenne annuelle des eaux naturelles et polluées dans le bassin de la Moselle (1965).

9/ Variations saisonnières des débits liquides et de la turbidité naturelle des eaux en quelques stations du bassin de la Moselle (1964-1965).



il est vrai en milieu tempéré océanique, et surtout de l'érosion dans les lits fluviaux.

En effet, dans les bassins cristallins vosgiens, au taux de boisement élevé et aux lits constitués par des matériaux à dominante grossière, la turbidité moyenne annuelle est très faible (10 mg/l). Les transports en suspension ne représentent que 5 à 15 % des transports solides totaux et les turbidités spécifiques varient de 3 à 8 t/km<sup>2</sup>/an. La turbidité des eaux naturelles s'accroît sur le Plateau Lorrain, spécialement dans les bassins riches en formations argileuses et où les sols sont moins bien protégés contre l'érosion hydrique par une couverture végétale en partie saisonnière; elle est pourtant faible et varie de 30 à 60 mg/l au plus. Les valeurs de la dégradation spécifique, comprises entre 15 et 25 t/km<sup>2</sup>/an, donc proches de celles enregistrées dans les bassins de la Seine, de la Loire, du Main ou de l'Elbe, témoignent ainsi de la faible efficacité de l'érosion mécanique au niveau des lits fluviaux et surtout des versants.

De plus, les variations saisonnières de la turbidité sont inverses de celles de la salinité et leur amplitude est égale-

ment plus forte<sup>(h)</sup>. La teneur des eaux en troubles est la plus faible, parfois même nulle, en saison chaude; ce fut le cas notamment lors de l'été de 1964 (fig. 9). Elle est plus élevée en saison froide, surtout en période de crues et de ruissellement diffus ou concentré sur les versants. Toutefois, les valeurs maximales de la turbidité, lors de diverses crues moyennes de l'hiver 1969-1970, n'ont pas dépassé 150 mg/l sur le Plateau Lorrain. Il convient de remarquer cependant que la corrélation entre les variations de la turbidité et celles de l'écoulement liquide n'est pas aussi étroite que dans le cas des transports en solution, surtout en période de crues<sup>(i)</sup>.

<sup>(h)</sup> En dépit de valeurs maximales somme toute modestes, le rapport des valeurs mensuelles extrêmes de la turbidité au cours des années 1964-1965 a été voisin de 10 dans la montagne vosgienne et a varié de 10 à plus de 30 selon les secteurs du Plateau Lorrain.

<sup>(i)</sup> L'augmentation des débits liquides en cas de crue ne s'accompagne pas en un secteur donné d'un accroissement continu et corrélatif de la turbidité des eaux. Il semble même exister un « seuil





Les transports de fond sont très faibles et ils ne constituent qu'un pourcentage minime des transports totaux, même en moyenne montagne océanique. Ils sont discontinus et limités dans le temps et dans l'espace aux périodes de crues.

Les matériaux grossiers charriés sur le fond, blocs, galets, gravillons et sables, proviennent du fond et des berges des lits apparents. Les crues très moyennes, de fréquence quasi annuelle, provoquent de simples remaniements des matériaux du lit. Les crues plus graves, au moins décennales, déterminent des migrations de matériaux plus importants.

L'étude des transports de fond sur la haute Moselle vosgienne, entre Remiremont et Epinal, où la pente est assez forte et où le lit apparent est entaillé dans une nappe alluviale grossière, s'est avérée au total assez décevante, malgré la multiplicité des méthodes de mesure employées. Le marquage des matériaux à la peinture n'a fourni que des renseignements médiocres et l'implantation de nasses à prélèvement, fort délicate, perturbe la dynamique naturelle; elle n'a donné que des indications fragmentaires lors de charriages modérés.

Des marquages de galets à l'aide d'éléments radioactifs ont permis d'étudier avec plus de précision les transports de fond au cours de l'hiver 1969-1970 (1). Au total, 27 % seulement des galets immergés ont été retrouvés. La migration principale a eu lieu lors des deux crues de février 1970. Si les distances maximales de déplacement des galets ont pu atteindre 200 à 300 m, la longueur moyenne parcourue n'a pas dépassé 100 m. Par ailleurs, la formule de Meyer-Peter s'est révélée totalement inapplicable et il a pu être montré que le débit de début de charriage coïnciderait approxima-

tivement avec le débit de débordement hors du lit apparent.

Grâce à la méthode d'intégration dans l'espace, l'expérience a permis cependant une estimation par excès du débit solide charrié au cours de l'hiver considéré, soit 1 300 t, valeur ramenée à 800 - 1 000 t par comparaison avec les résultats de certaines formules semi-empiriques, de celle d'Einstein en particulier. La dégradation spécifique relative aux transports de fond s'élèverait ainsi à environ 1 t/km<sup>2</sup>/an dans le bassin supérieur de la Moselle, valeur qui semble assez caractéristique du domaine océanique de moyenne montagne.

## Conclusions

L'irrégularité de l'écoulement des cours d'eau océaniques, et spécialement de la Moselle, tient à la variabilité des précipitations, fonction elle-même de l'instabilité des types de temps. Les variations interannuelles de l'abondance fluviale, les modifications interannuelles du régime pluvial océanique, l'irrégularité des phénomènes d'étiages et de crues caractérisent le mieux ces cours d'eau apparemment pondérés et réguliers. Les transports solides fluviaux connaissent, de ce fait, des variations saisonnières et interannuelles parfois importantes.

Mais la Moselle, comme de nombreux cours d'eau des régions tempérées industrialisées, voit son écoulement liquide et solide gravement perturbé par l'homme. Prélèvements, stockages et rejets d'eaux, le plus souvent usées, modifient sensiblement les caractères naturels de l'hydrologie et de la dynamique fluviale.

---

hydrologique » au-delà duquel la turbidité ne s'élève pratiquement plus. Ce phénomène tient aux conditions mêmes de l'écoulement en crue. Tant que les volumes d'eau s'écoulent dans le lit apparent, les vitesses des courants s'accroissent ainsi que les forces tractrices. Le lit est alors apte à livrer des matériaux fins, en plus de ceux en provenance des versants. Lorsque les eaux débordent dans le lit majeur, le plus souvent colonisé par la végétation en milieu tempéré

océanique, aucune fourniture supplémentaire de troubles ne peut se produire, d'autant que les vitesses sont alors faibles.

(1) Cette expérience a été possible grâce à l'appui technique de la Section d'Application des Radioéléments du Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay et à l'aide financière de l'Agence Financière de Bassin « Rhin-Meuse » de Metz.