

SUR LES FONTES DES NEIGES LORS DES CRUES

LA GRANDE CRUE ALPESTRE DE JUIN 1957

QUELQUES DONNÉES

par Maurice **PARDÉ**

I. — INTRODUCTION

1. L'averse.

Dans la soirée du 12 juin 1957, en même temps qu'un réchauffement sensible succédait à un assez grand nombre de journées plutôt fraîches dans le Sud-Est de la France, une pluie surabondante amenée par des courants aériens d'Est-Sud-Est assaillit la concavité italienne des Alpes depuis le bassin de la Sesia, au Sud du Mont Rose, jusqu'au domaine supérieur à la Stura di Demonte, affluent du Tanaro.

Les masses d'air humide entraînées au-delà de la chaîne frontalière par le vent ici appelé la « lombarde » se condensèrent en précipitations très fortes dans les parties orientales des bassins fluviaux français, les plus proches de l'Italie et particulièrement sur la haute Tarentaise (Isère) en amont de Tignes, la haute Maurienne (bassin de l'Arc) jusque vers Modane, la haute Durance, le Queyras (bassin du Guil), la haute Ubaye, jusque vers Barcelonnette, enfin sur le Verdon, et plus loin sur la Tinée vers les sources de ces rivières. Les secteurs les plus arrosés furent la Maurienne nord-orientale jusque vers Lanslebourg, puis surtout le domaine oriental du Guil. Cependant ici les maxima en 24 heures ne furent peut-être pas plus sévères que dans la Maurienne. On releva en effet 204 mm à Avérole, 155 à Bonneval dans cette région, contre 202 à Abriès, 159 à Saint-Véran, 157 à Château-Queyras pour le haut Guil (et 154 à

Fouillouse pour l'Ubaye). Mais la zone atteinte très dangereusement fut plus étendue dans le Queyras qu'en Maurienne ¹.

La pluie sévit avec une intensité diluvienne ² sur une bande plus ou moins étroite vers la région frontière, pendant une trentaine d'heures ou un peu plus. Mais les jours suivants, elle recommença plusieurs fois, et finalement en quatre jours, du 12 au 16, il tomba jusqu'à 300 millimètres et plus vers Bessans et Bonneval, puis à l'Est de Château-Queyras.

Les pluies survenues après le matin du 14 contribuèrent à accroître les volumes liquides totaux des intumescences fluviales, mais elles n'interrompirent point ou guère les baisses des cours d'eau après des maxima causés par les seules influences de la grande averse et des fontes nivales.

2. Les crues.

Plusieurs rivières eurent des crues sans précédents bien connus pour elles. La haute Isère précipita dans le lac artificiel de Tignes 160 m³ et 750 lit./sec. par km². L'Arc multiplia les dévastations sans que son débit, supérieur cependant aux records, ait excédé 450 à 500 m³ à Avrieux (amont de Modane), soit 825 à 920 lit./sec. par km²; ni 600 à 700 m³ à Epierre (1 821 km²). Le Verdon à Castillon (300 à 350 m³ pour 655 km²) et la Tinée à Bancairon (270 m³ pour 450 km²) eurent aussi des crues très sérieuses. Mais les débits les plus remarquables ³ ont affecté le haut bassin de la

¹ En outre, il n'est pas impossible que la rétention nivale ait affaibli le ruissellement dans la Maurienne, où les parties situées au-dessus de 3 000 mètres couvrent une superficie incomparablement plus grande que dans le Queyras : 156 km² contre 4.

² Cependant ces pluies ont été beaucoup moins torrentielles que bien des averses cévenoles. Le 30 septembre 1958 il est tombé 140 millimètres en 2 heures à Alès; le 13 ou le 14 juin 1957, on a relevé des maxima horaires de 20 à 30 millimètres à Saint-Véran, à Abriès et au col de Larche (Ubaye). Dans les deux cas, il s'agissait de précipitations aussi extensives que violentes en leurs foyers centraux. Les pluies peuvent dépasser 100 à 120 millimètres en une heure dans le Vivarais, les Cévennes et leur avant-pays, et 150 à 180 en deux heures. Puis, lors des orages *locaux*, l'intensité horaire semble pouvoir excéder 50 à 100 mm en beaucoup de régions françaises, y compris bien entendu les Alpes.

³ Même ces crues ont été relativement modestes à côté des maxima des rivières cévenoles en maintes circonstances. Pour 553 km², à Anduze, le 30 septembre 1958, le Gardon a peut-être débité 2 500 à 3 000 m³. Le record de l'Ardèche à Aubenas, le 22 septembre 1890, serait de même ordre pour 460 km². Mais si les lits ne sont pas, à beaucoup près, assez spacieux pour des débits liquides même point extraordinaires en soi, et si les rivières reçoivent des affluents et des versants plus de matières solides qu'elles ne peuvent en charrier, comme ce fut le cas en Maurienne et surtout dans le Queyras en juin 1957, il y a désastre.

Durance. Sur cette rivière elle-même, les records des 150 dernières années (et l'on ignore tout des crues antérieures) ont été égalés ou peut-être excédés à Serre-Ponçon et à Ventavon⁴. Nous essayerons de les chiffrer plus loin. Sur l'Ubaye à Barcelonnette le flot de 480 m³ pour 549 km² n'a peut-être pas dû être souvent dépassé. Mais c'est le Guil qui fut le plus terrible. A la Maison du Roy, il monta de 0,50 m à 9,50 m et son flot n'a jamais été approché, à ce qu'il semble, depuis plus d'un siècle. On verra quel débit il a pu représenter. Dans cette vallée la dévastation, due surtout à des apports démesurés de gros matériaux sur les terres cultivables, ou dans les localités, puis à la destruction des routes, fut immense.

3. Publications relatives à la crue.

Nous n'avons pu, faute de temps ou de loisir, élaborer la monographie exhaustive dont nous avons aussitôt désiré l'apparition sur ce phénomène. Mais d'autres auteurs lui ont consacré des articles ou des mémoires. Citons d'abord une étude très documentée du Service Hydrométrique italien⁵. Puis Mlle Anne-Marie Rudolph a fait paraître dans la *Revue de Géographie de Lyon*⁶ une note précieuse intitulée : « Quelques remarques sur les inondations des 13-15 juin 1957 dans les vallées septentrionales du Massif du Grand-Paradis. »

La publication la plus riche en données numériques et en figures, pour l'ensemble des Alpes françaises, a été due aux hydrologues de l'Electricité de France⁷. Mais les descriptions et les commentaires explicatifs y sont un peu brefs.

Beaucoup plus abondant sur un sujet plus restreint a été M. J. Tricart dans un mémoire qu'a publié (tome XLVI, 1958, p. 565-627, 4 fig., 4 pl. photo.) la *Revue de Géographie alpine* : La crue de la mi-juin 1957 sur le Guil, l'Ubaye et la Cerveyrette. Ce travail contient une foule d'indications et d'explications très intéressantes; notamment sur les causes atmosphériques⁸ des pluies,

⁴ En aval, cette crue ne reçut que peu, de renforts, si l'on excepte celui du Verdon. La Durance a dû rouler 2 350 m³ à Mirabeau (forte crue moyenne), contre 5 000 peut-être pour le record d'octobre 1882.

⁵ Notizie sulla piena del Po del Guigno 1957, Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio idrografico, 1957, gr., 8 p., 5 fig.

⁶ Vol. XXXIII, 1958, n° 2, p. 195-200, 1 fig., 7 phot. en 3 pl. hors texte.

⁷ Electricité de France, Division technique générale, Centre Hydrométéorologique Alpes (C.H.M.A.), Lyon, Etude de la crue de juin 1957, 12 p. polygraphées, 16 pl. (cartes et graphiques) hors texte.

⁸ Nous devons mettre en évidence ici un fait très important. Lors des averses méditerranéennes typiques, auxquelles sont dues toutes les grandes crues de la Durance moyenne et inférieure, des rivières cévenoles, du Tarn

leur extension et les actions érosives et remblayantes, d'où ont résulté les effrayants dommages.

Cependant, ledit mémoire a été loin de nous convaincre en ce qui concerne les débits réalisés lors du phénomène et le rôle de la neige fondue dans la genèse de l'inondation. Nous devons présenter sur ces points, d'ailleurs connexes, d'importantes contradictions. Et nous profiterons de l'occasion⁹ pour examiner d'une façon générale, par des constatations ou par des hypothèses, le problème des fontes possibles de neige lors des très grandes crues, non seulement dans les Alpes, mais encore en Amérique du Nord et en Russie.

et du Lot supérieur, etc., on trouve inmanquablement en surface une aire dépressionnaire, entre l'Irlande ou la Bretagne d'une part, et le golfe du Lion de l'autre, et un anticyclone très affirmé avec centre sur l'Europe Centrale et les Balkans, mais englobant l'Italie et empiétant jusque sur la Sardaigne et la Corse. En altitude la situation atmosphérique n'est pas sensiblement différente. Or, du 12 au 14 juin 1957, on n'a remarqué en surface absolument rien de semblable, d'après la figure 1 dépliant de M. Tricart. Aucun véritable anticyclone au Sud-Est, tandis qu'une aire de très hautes pressions stationne au Nord-Ouest, englobant les Iles Britanniques. Mais à l'altitude de 700 millibars (vers 3 000 mètres), d'après les cartes établies à la station météorologique de Lyon-Bron et reproduites par l'Electricité de France, la situation est en grande partie différente. L'anticyclone septentrional est assez nettement décalé vers la Mer du Nord et la Scandinavie. Les pressions sont hautes au Sud-Est, et, fait aussi considérable, une large dépression se tient à l'Ouest-Sud-Ouest, entre le Sud-Est de l'Espagne, la Provence, la Corse et l'Algérie. C'est elle qui a attiré en altitude l'air chaud humide sud-oriental vers les Alpes piémontaises et françaises.

⁹ Sur d'autres points traités par M. Tricart, nous serons bref. Les débits maxima qu'il cite d'après le *Service des Grandes Forces Hydrauliques*, pour le Guil et la Cerveyrette, de 1912 à 1917 (p. 574), et pour l'Ubaye (p. 621) n'ont qu'une valeur assez restreinte et souvent très médiocre. Ces chiffres correspondent non aux maxima réels des crues, mais aux plus hautes cotes, relevées d'ordinaire à une seule heure fixe chaque jour (à 12 heures presque toujours, et presque partout). Cela suffirait à rendre les débits en question inférieurs et parfois de beaucoup aux pointes vraies. En outre, pour les niveaux presque toujours trop faibles ainsi retenus, les corrélations hauteurs-débits étaient bien incertaines, faute de jaugeages lors des crues.

Puis, d'une façon générale, nous désapprouvons l'emploi novateur du terme de *module* pour n'importe quel débit spécifique, et notamment pour les maxima des crues en lit./sec. par km². Le mot de module, appliqué au seul débit moyen annuel brut (en m³/sec.) ou spécifique, n'est point en soi une merveille. Mais cette interprétation, consacrée depuis plusieurs dizaines d'années, donne au terme une signification connue de beaucoup. Le terme est simple et nous ne voyons point en vertu de quels arguments on l'emploierait dans un autre sens.

La crue des 22-23 juillet 1914 sur la Cerveyrette (mais aussi dans tout le domaine de la Durance en amont de Sisteron) a peut-être et même sans doute eu pour cause des orages. Mais ceux-ci (et nous pensons que l'auteur ne l'ignorait point) n'étaient en rien des phénomènes épars. Ils se sont intégrés dans une averse méditerranéenne bien supérieure en extension à celle des 13-14 juin 1957. Les crues furent considérables sur la Cèze, l'Ardèche, le Drac, l'Isère, etc..., la Drôme, le Rhône alpestre, le Tessin, le Rhin alpestre, etc...

II. — NEIGES FONDUES LORS DE LA CRUE ALPESTRE DE JUIN 1957

1. Calculs de M. Poggi.

Nous n'évaluerons point ou guère ici les lames d'eau de fonte, d'après les bonnes relations algébriques maintenant employées, et qui lient les quantités en question aux facteurs météorologiques : températures, rayonnement, nébulosité, vents, pluies tombant sur la neige. Un météorologue grenoblois, M. Poggi, se basant sur des formules de ce genre, présente dans cette *Revue*, une note sur les fusions probables de neige dans le bassin du Guil en juin 1957.

Il donne à ses lecteurs le choix entre plusieurs chiffres pour les neiges liquéfiées, au total et chaque jour. Son hésitation s'explique tout d'abord par quelques différences entre les équations qu'il utilise, et tout autant ou encore plus, par ses incertitudes sur les températures effectivement réalisées durant ce phénomène, au-dessus de 2 250 mètres, c'est-à-dire dans la zone où il y avait de la neige à fondre. En effet, ces températures n'ont pas été l'objet d'observations directes aux altitudes considérées, et il n'y avait pour leur connaissance qu'une seule ressource, l'extrapolation. Celle-ci, grâce aux progrès de la météorologie en haute montagne, doit donner des chiffres assez satisfaisants. Et les ordres de grandeurs auxquels s'est arrêté M. Poggi ne peuvent guère, à notre sens, être assez défectueux pour qu'il en résulte des risques d'erreur capitale, pour les évaluations des neiges fondues. Par exemple, les plus forts chiffres envisagés doivent bien constituer des maxima possibles. Et il est inconcevable qu'entre 2 200 et 3 000 mètres la température moyenne, lors des jours les plus critiques, ait avoisiné 18 ou 20 degrés, ce qui aurait permis à la fonte, sous l'action seule des températures, de libérer quelque 80 à 100 millimètres en 24 heures, sans compter une vingtaine ou une trentaine de millimètres rendus à l'état fluide, par l'action de la pluie.

2. Débits maxima probables.

On verra que les chiffres de M. Poggi ne diffèrent pratiquement point des nôtres. Ceux-ci ont pour soutien la comparaison entre les pluies tombées et les lames d'eau atmosphériques vraisemblablement écoulées.

Nous n'éprouvons point un embarras nuisible à toute conclusion ferme, sur les débits journaliers successifs et totalisés, d'après lesquels nous évaluons les volumes liquides écoulés par le Guil.

Certes, par suite de difficultés faciles à comprendre pour le personnel, et parce que les eaux furieuses ont détruit plusieurs appareils enregistreurs, les observations hydrométriques ont été réduites au minimum, et même presque à rien, sur les affluents de la Durance les plus touchés par la crue et sur la rivière principale elle-même à Saint-Clément (2 124 km²). Et jamais on n'avait mesuré directement des débits dépassant sur le Guil le quart, ou sur la haute Durance le tiers ou la moitié des maxima de 1957. Cependant, on a retrouvé les niveaux les plus élevés atteints en divers lieux. Et d'après ces cotes, les sections mouillées probables et des vitesses jugées acceptables, on a estimé grossièrement quelques débits de pointe.

Nous avons déjà vu le chiffre adopté par l'Electricité de France pour l'Ubaye à Barcelonnette : soit 875 lit./sec. par km². Et rien ne nous autorise à déclarer cette valeur trop faible.

Puis on admet avec beaucoup moins d'extrapolation 1 400 m³ sur la Durance en aval du confluent avec l'Ubaye, à l'Archidiacre (3 884 km²) et sans doute guère plus de 300 m³ à la Roche-de-Rame (984 km²) avant le confluent avec le Guil. Pour Saint-Clément, très près de l'aval de ce point, un calcul trouve 1 620 m³, soit 760 lit./sec. par km². Ce chiffre¹⁰ nous paraît un peu fort. Même si on doit le ramener à 1 500 ou même à 1 400 m³, il nous incite parfois à juger plutôt modique la valeur de 700 m³ (1 205 lit./sec. par km²) proposée pour le Guil à Maison-du-Roy. Car entre ce lieu et le confluent avec la Durance, le débit maximum n'a point dû beaucoup s'accroître faute de grosses pluies sur la partie correspondante du bassin. Et les débits évalués pour Saint-Clément et Serre-Ponçon rendent point invraisemblable un maximum d'au moins 1 000 m³ pour le Guil à Montdauphin, soit alors peut-être 900 m³ à Maison-du-Roy, ou 1 550 lit./sec. par km². Cependant, le chiffre de 700 m³ supposé pour ce lieu par M. André, excellent spécialiste en matière de mesures et de calculs hydrométriques à l'Electricité de France, est peut-être le moins inexact.

Pour Serre-Ponçon, l'Electricité de France accepte un maximum naturel de 1 700 m³, soit 475 lit./sec. par km², à l'entrée dans la retenue créée par le batardeau. Nous croyons que c'est le meilleur des chiffres relatifs aux débits maxima de cette crue.

En effet, il a été calculé, non sans garanties de bonnes approximations, d'après les débits évacués par deux dérivations souterraines provisoires (soit 1 400 m³), lesquels ont produit le maximum

¹⁰ D'après les débits vraisemblablement réalisés à la Roche-de-Rame, puis sur le Guil et l'Ubaye, et enfin à Serre-Ponçon.

à l'Archidiacre en aval et d'après l'accumulation dans la retenue (300 m³ à la seconde vers le moment du maximum).

Cette appréciation sur l'exactitude probablement assez satisfaisante des débits calculés pour Serre-Ponçon va faire de ceux-ci la base principale de nos chiffres relatifs aux quantités de neige fondues. Car les volumes liquides écoulés en quelques jours à Serre-Ponçon nous permettront des approximations sans doute point trop défectueuses sur la contribution totale du Guil au volume total de la Durance.

3. Volume total probablement débité par le Guil.

Pour la rivière principale à Ventavon (4 216 km²), le total des débits moyens journaliers en 4 jours (du 13 au 16) fait 2 100 m³/sec. (dont 880 le 14, 695 le 15). A l'Archidiacre, on aurait seulement 1 810 m³ en 4 jours. Nous n'hésitons guère à déclarer cette somme sensiblement trop faible. Et finalement, nous adopterons comme chiffre le moins inexact, mais sans certitude, 2 196 m³ (soit 2 200), trouvés à Serre-Ponçon pour 3 580 km² (figure 1).

Peut-être avons-nous trop de complaisance pour la thèse par nous combattue en retenant, comme base de discussion, le plus grand chiffre des volumes liquides entre lesquels nous avons le choix pour la Durance.

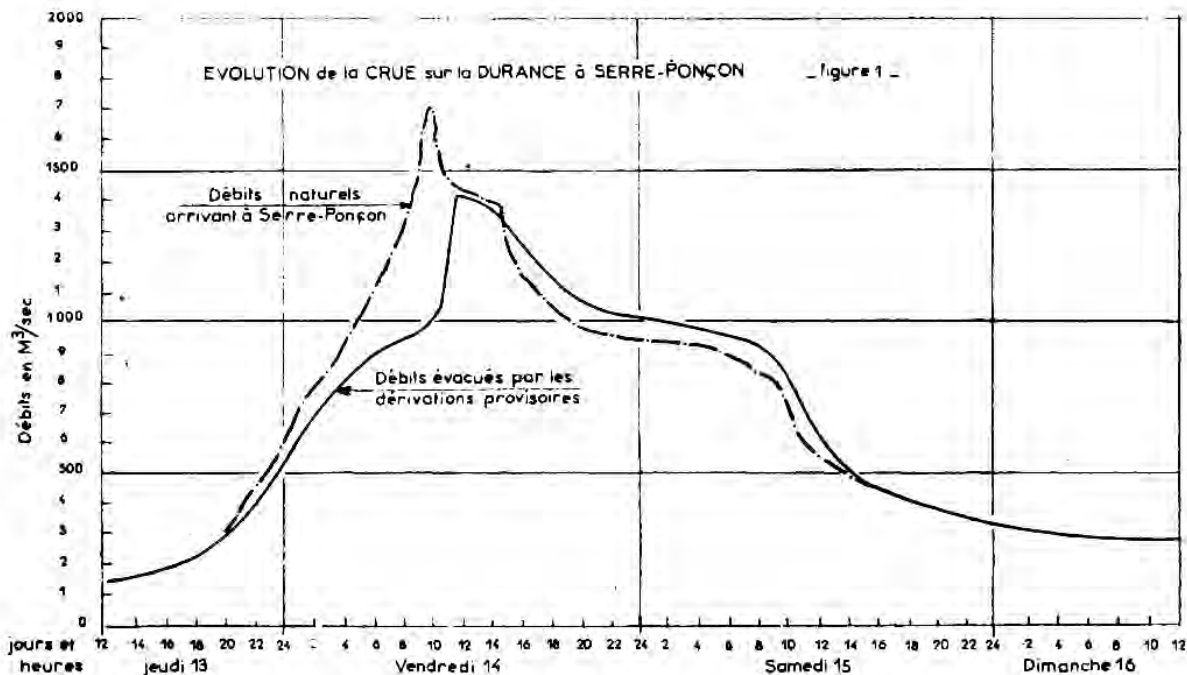


Fig. 1. — La crue de la Durance à Serre-Ponçon.

Or, M. Tricart déclare que le Guil, vers Guillestre, a dû rouler 1 000 m³, en moyenne, pendant trois jours. Cela ferait 3 000 m³ au total, contre 2 200 en 4 jours à Serre-Ponçon, pour un bassin presque quintuple¹¹. En outre, si l'Ubaye, comme le pense notre auteur, a débité en gros 400 m³ à Barcelonnette, pendant 3 jours¹², nous aurions en ce lieu 1 200 m³/jours-débits sans compter les chiffres d'un quatrième jour, soit au total sur le Guil et la haute Ubaye pas loin de 5 000 m³/jours-débits pour 1 274 km². Nous avouons n'avoir jamais supposé un instant, dès la première lecture de ces chiffres, qu'ils puissent avoir quelque embryon de vraisemblance.

Si le Guil avait débité en 3 jours 3 000 m³/sec. au total, cela impliquerait 358 mm d'eau écoulés (et plus de 400 en 4 jours). Même avec 80 % d'écoulement pour la pluie seule, on aurait, en 3 jours, 218 millimètres d'eau de fusion, pour tout le bassin, et 507 millimètres rapportés à la partie située au-dessus de 2 250 m et encore enneigée. Les évaluations de M. Tricart sur le produit de la fonte, à savoir environ 300 millimètres¹³ le 13 puis 100 à 120 le 14, et un peu moins le 15, eussent été en gros vérifiées.

Passons, et prenons pour Serre-Ponçon en 4 jours les 2 200 m³ trouvés; ajoutons 200 m³ pendant 12 heures, en admettant que la

¹¹ Donc, non seulement plus de 2 500 km² n'auraient pas fourni au ruissellement une goutte d'eau et les débits précédents venus de cette surface eussent été soudain taris. Mais encore, sur 260 millions de m³ à peu près roulés par le Guil, quelque 70 millions eussent été subtilisés par miracle. D'une façon générale, les chiffres officiels de débits ne sont point tabous, surtout pour les crues des rivières violentes, turbulentes, qui transportent beaucoup de gros matériaux. Nous venons de montrer que les *Ingénieurs de l'Electricité de France* indiquent pour les volumes totaux débités, selon les stations de la Durance, entre Serre-Ponçon et Ventavon, des chiffres différents. C'était fatal, faute de jaugeages directs qui, sur des eaux aussi tumultueuses, ne pouvaient donner que de bonnes approximations. Mais l'hypothèse de chiffres sous-estimés de moitié, ou de plus, pour les volumes liquides totaux de crue à Serre-Ponçon par les hydrologues de l'Electricité de France ne mérite pas même une minute d'examen. Ce n'est point de la sorte qu'on doit *appliquer* la géographie.

¹² Une stabilité de ce genre peut, certes, avoir lieu lors de crues dues à la seule fonte des neiges. Mais d'après notre documentation, assez grande, et nos réflexions, elle se manifesterait aux environs de 150 à 250 m³ au plus pour le Guil et de 125 à 175 pour l'Ubaye dans des cas exceptionnels, contre 1 000 et 400 supposés respectivement par notre auteur. Certes, le 14 et le 15 juin 1957, la décroissance a été ralentie, comme presque toujours plus ou moins en cette saison, par la fonte des neiges. Mais elle a été très sensible d'après les diagrammes que nous possédons pour la Durance et pour les rivières italiennes voisines. Peut-être des remblaiements, survenus pendant la décroissance, ont-ils abusé certains témoins en empêchant les niveaux de s'abaisser autant que l'aurait voulu, sur un fond non exhaussé, la diminution des débits.

¹³ M. Tricart indique (p. 608) 200 à 300 millimètres, pour ce jour, puis (p. 609) 200 à 400.

« queue » de l'écoulement de crue venu du Guil et de l'Ubaye a eu ce retard. Nous trouvons en gros 207 millions de m³ à Serre-Ponçon.

A la Roche-de-Rame, les débits indiqués par l'E.D.F. totalisent 495 m³ (disons 500) en 4 jours, soit en gros 43 millions de m³.

Si à Barcelonnette l'Ubaye avait débité 400 m³ pendant 3 jours, comme l'avance M. Tricart, ce seul apport aurait donné 107 millions de m³. Additionnons cet imaginaire volume de 3 jours, donc incomplet, à celui que l'on vient de définir pour la Roche-de-Rame. On obtient 150 millions de m³. Resterait, sur 207 millions de m³, 57 fournis par le Guil et par le surplus du bassin (1 322 km²) à l'amont de Serre-Ponçon. Même si pas une goutte d'eau n'était venue de cette dernière surface, le coefficient d'écoulement de la pluie seule, pour le Guil, eût été de 45 %, chiffre trop faible, sans que la fonte ait fourni quelque débit que ce fût.

Or, nous ne pouvons en rien douter que la fusion nivale a contribué à la crue. Tâchons donc de trouver de manière point trop fantaisiste un volume liquide total acceptable pour l'intumescence du Guil. Nous ne pouvons y parvenir que par des soustractions.

En ce qui concerne le cube débité en 4 jours à la Roche-de-Rame, nous serions bien surpris qu'il représente exactement 43 millions de m³. Mais l'erreur possible par défaut ou par excès ne peut être bien considérable. Nous retiendrons donc 43 millions de m³.

Pour l'Ubaye à Barcelonnette, nous abaisserons à 150 m³ pendant 3 jours au lieu de 400 le débit moyen, et nous ajouterons 50 m³ pour un quatrième jour, soit encore 43 millions de m³ au total et peut-être un peu plus. Les 1 322 km² restants à l'amont de Serre-Ponçon n'ont été que médiocrement arrosés (50 millimètres peut-être). Mais ils ont dû aussi fournir de la neige fondue venant des parties situées au-dessus de 2 200 mètres.

En définitive, il est peu vraisemblable qu'ils n'aient point débité en 4 jours au moins 10 mm, et plutôt 12 ou 15. Soit 13 à 20 millions de m³. Nous avons donc toutes chances de faire la part belle au Guil, en supposant que du 13 au 16, il a débité 100 millions de m³ sur 207 millions roulés à Serre-Ponçon en 4 jours et demi. Nous prendrons 100 millions de m³ pour base de notre calcul, non sans remarquer que 90 ou 95 millions de m³ eussent peut-être mieux convenu, surtout si nous avions défalqué, chose recommandable, les débits qui se seraient écoulés dans le Guil inférieur par le fait des sources, pendant les mêmes jours, si la grande averse n'avait pas eu lieu.

4. Alimentation totale de la crue en eau atmosphérique.

Le volume de 100 millions de m³, divisé par la surface réceptrice, à savoir 725 km², donne un écoulement de 138 millimètres. Et nous voici assez loin de 350 à 400. Mais quelle quantité totale d'eau atmosphérique, à savoir pluie et eau de fonte, a pu, déduction faite des quantités infiltrées et évaporées, donner lieu à l'intumescence ?

Pour pouvoir fournir une réponse exacte, il faudrait bien connaître le coefficient ou quotient d'écoulement de la crue, en 4 jours, du 13 au 16 juin. Là-dessus nous ne pouvons que raisonner par voie d'analogie, c'est-à-dire faire des conjectures. Mais celles-ci comportent des limites raisonnables, pour les proportions à admettre.

D'après toutes sortes de considérations et d'exemples¹⁴, et vu l'intensité de l'averse dans la moitié supérieure du bassin en 24 heures (sans doute 130 millimètres en moyenne et 200 ou plus en certains points), on ne peut guère se tromper en pensant que le coefficient d'écoulement n'a pu être inférieur à 50 %, et que plus probablement il a avoisiné ou dépassé 60 %. Chiffres d'ailleurs point énormes. Mais nous les jugeons vraisemblables par comparaison avec des valeurs relatives à certaines très grandes crues arrivées dans le bassin supérieur piémontais du Pô, crues d'ailleurs assez souvent contemporaines de celles du Guil, notamment celle de mai 1948, une des plus fortes connues sur notre rivière¹⁵ avant juin 1957. Lors du gonflement de mai 1948, le rapport des pluies écoulées aux pluies tombées a représenté 43 % à Meirano, près de Turin, pour 4 885 km²; on a trouvé 0,41 pour la crue bien plus forte à Turin du début de mai 1949. Mais nous estimons qu'il faudrait peut-être porter le chiffre à 0,50 pour tenir compte du fait que les parties hautes ont dû ne recevoir que de la neige et ne point participer au ruissellement. Puis la crue italienne de mai 1949 suivait un semestre de sécheresse intense, et une infiltration supérieure à la normale a sans doute réduit, en cette circonstance, le pourcentage des pluies ruisselantes. Enfin, lors de ces phénomènes piémontais, les quotients sur les bassins les plus arrosés de moyenne étendue furent probablement plus élevés que sur l'ensemble de 4 885 km². Voilà pourquoi nous jugeons les plus vraisemblables, pour tout le

¹⁴ Cf. Pardé (M.), Sur les coefficients et déficits d'écoulement des très grandes crues (*Annales de l'Institut Polytechnique de Grenoble*, tome IV, 1954, n° 3, p. 106-129) et : Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss bei grossen Sommerhochwasser, traduit en allemand par F. W. Lockermann (*Bonner Geographische Abhandlungen*, Heft 15, Bonn, 1954, in-8°, 59 p., 6 fig.).

¹⁵ Cf. Wyart (P.), Monographie hydrologique du Guil (*La Houille Blanche*, Grenoble, numéro spécial A, mai 1950, 19 p., 5 fig.). La crue de mai 1948 avait déjà été étudiée dans une note de M. P. Veyret (*Revue de Géographie alpine*, tome XXXVI, 1948, fasc. IV, p. 611-614).

bassin du Guil, débits de base compris, de 50 à 60 % pour le quotient d'écoulement des 13-16 juin 1957. La proportion a pu dépasser 70 à 80 % dans les parties hautes les plus frappées par l'averse, et ne point atteindre 25 % pour le quart inférieur.

Or, un quotient d'écoulement de 50 % impliquerait 276 millimètres pour le total de la pluie et de la neige fondue. Avec le chiffre de 60 %, l'alimentation globale en eau atmosphérique aurait atteint 230 mm.

5. Chiffres vraisemblables pour les fontes.

a) Hypothèse d'un quotient d'écoulement voisin de 50 %.

D'autre part, nous avons évalué la pluie à vue d'œil, puis en faisant des moyennes pondérées sommaires, d'après la carte des isohyètes, à 175 mm du 12 au 16, et c'est exactement le chiffre admis (p. 602) par M. Tricart. Je m'accorde avec lui sur ce point, sous la réserve que nous avons pu nous tromper tous les deux dans un sens ou dans l'autre, faute d'observations sur les pentes les plus élevées. De toutes façons, les plus *grosses* erreurs, que nous aurions pu commettre sur le montant de l'averse, ne pourraient rendre inexacte notre conclusion sur l'exagération énorme du chiffre de 300 millimètres attribué à la fonte de neige pendant 24 heures.

Si donc le quotient d'écoulement n'a pas excédé 50 %, la pluie ayant été 175 mm et l'écoulement 138 mm, la neige fondue aurait représenté 101 mm. Mais cet apport ne venait que d'une partie du bassin, vraisemblablement celle qui se situe au-dessus de 2 250 mètres d'altitude. On peut admettre pour elle d'après les planimétrages de l'ancien *Service des Grandes Forces Hydrauliques*, 312 km², soit 0,43 de la surface totale. Cette zone aurait de la sorte fourni

$\frac{101}{0,43} = 232$ mm d'eau de fonte en 4 jours. Mais l'apport nival a

certainement été le plus grand lors de la phase pluvieuse la plus intense, non accompagnée de refroidissement. Si le total de 232 mm pour l'apport nival est exact, on doit envisager comme plausible que, dans la journée du 13, 80 millimètres aient été libérés par la fonte qu'accélérait la grosse pluie. Et la fusion presque seule aurait fourni 152 millimètres au total, pendant les trois autres jours.

Ainsi, la neige aurait contribué pour 36,3 % à l'alimentation totale de la crue. En examinant les phénomènes de plus près, il n'est pas interdit de croire que le coefficient d'écoulement de la neige fondue, partout ruisselante au début des parcours sur une couche plus ou moins glacée, puis sur un sol gelé et humecté a été sensiblement plus élevé que celui de la pluie. Car celle-ci a frappé

sur plus de la moitié de la surface le sol nu, avec une abondance modérée pour le bassin inférieur, d'où une infiltration sans doute active.

Et nous voyons assez bien comme ayant dû entrer en jeu les quantités suivantes. En 4 jours, 70 millimètres seulement d'origine pluviale, soit 40 % de la pluie auraient atteint le cours de la Durance. Mais 68 mm d'eau de fusion, chiffre rapporté comme le précédent à l'ensemble du bassin, soit 67,5 % du volume liquide correspondant à la seule fonte, auraient participé à la crue. Ils en auraient donc représenté environ un demi.

La fourniture par la fusion le 13, de 80 millimètres provenant de 312 km², représenterait 26,7 % du chiffre proposé par M. Tricart. Cependant, nous doutons qu'un tel apport nival corresponde à la réalité. Tout au moins, nous le considérons à peu près comme le chiffre maximum qui puisse résulter de bons calculs dont toutes les bases seraient exactes. Et nous estimons bien plus vraisemblable qu'il pêche par une sensible exagération.

En effet, M. Poggi, dans l'étude plus haut mentionnée, trouve qu'une telle contribution nivale ne pourrait s'expliquer que dans l'hypothèse où les chiffres applicables aux températures du 13 mai à 2 500 mètres et au pouvoir fondant de la pluie auraient atteint les valeurs maxima envisagées. M. Poggi estime bien plus admissible, pour le 13, un appoint nival moindre.

Puis consulté par nous, un des meilleurs spécialistes en l'espèce, M. P. Kasser, *chef de la Section d'Hydrologie au Laboratoire de Recherches hydrauliques annexé à l'Ecole Polytechnique Fédérale, à Zurich*, nous a écrit (16 décembre 1958) :

« Concernant le cas du Guil, je suis d'accord avec vous qu'une fusion de 300 millimètres en 24 heures est absolument impossible. Si vous séparez les influences du rayonnement et de la température d'une part, et de la pluie d'autre part, vous arrivez aux valeurs possibles suivantes :

« Pour une couche de neige horizontale et une température moyenne journalière de 8° centigrades, on peut penser à une fusion maximum de 40 millimètres mesurée en eau; pour une surface de glace, à un maximum d'environ 60 mm. Comme le ciel était couvert, ces montants n'ont certainement pas été atteints. Une pluie de 8° ne peut guère faire fondre que le dixième de sa masse en se refroidissant à 0°. Ainsi on arrive à la conclusion que, dans notre cas, une fusion de 70 mm semble vraiment un chiffre tout à fait excessif. »

b) Hypothèse d'un coefficient d'écoulement voisin de 60 %.

Nous obtenons, pour la fonte, des chiffres bien plus compatibles avec les opinions des météorologues spécialistes et avec les résultats de diverses formules si nous admettons, pour l'ensemble du bassin du Guil, un quotient d'écoulement (débit de base compris) de 60 %, entre le 13 et le 16 juin 1957.

Alors, l'alimentation en eau atmosphérique pendant 4 jours devient 230 millimètres. La part de la neige fondue tombe à 55 millimètres rapportés à l'ensemble du bassin et à 128 provenant de 312 km² situés au-dessus de 2 250 mètres. Et l'on peut inférer que le 13 il y a eu 55 à 60 millimètres d'eau de fusion (contre 300 supposés par M. Tricart). Ce qui laisserait 65 à 70 millimètres au total pour les trois autres jours.

On peut encore admettre, en faisant la part très belle à la fonte, que sur 55 millimètres de neige rapportés à tout le domaine du Guil, 45, soit plus de 80 %, ont pu s'écouler. Il resterait 93 mm pour l'apport de la pluie, soit 53 % de celle-ci. Ainsi, la part de la neige fondue dans le volume total du phénomène serait voisine d'un tiers. Les Services de l'E.D.F. ont dit avec prudence 20 à 40 %. Nous pouvons peut-être suggérer, sans trop d'inexactitude, 28 à 35 %.

c) Autres remarques.

A vrai dire, dans le régime des rivières issues des hauts massifs centraux alpestres et descendant de plus de 3 000 mètres, après la plupart des averses tombant en mai ou juin et produisant une crue, la contribution au volume total de celle-ci, des eaux de fonte, est le plus souvent et par principe grande, puisque en ces semaines normalement la fusion nivale ou glaciaire (celle-ci tout au moins à partir de juin) engendre des débits qui, à eux seuls, représentent une crue. L'on sait même que certaines intumescences notables de l'Isère, du Rhône ou du Rhin alpestres et de leurs affluents peuvent être causées totalement par la fonte. Nous verrons bientôt que c'est le cas parce qu'il s'agit alors de débits maxima relativement forts bien sûr, aux lieux en question, mais pourtant modérés par rapport à ceux qu'en beaucoup de régions peuvent produire les pluies diluviennes.

Et plus les pluies alpestres en mai et juin sont puissantes, plus, en principe, la part de la fonte dans les volumes totaux se réduit. Une proportion de 28 à 35 %, selon les chiffres que nous jugeons possibles pour le Guil en 4 jours de juin 1957, serait relativement élevée pour une crue aussi grande, par comparaison avec ses devancières connues.

Puis un intérêt spécial s'attache aux proportions susceptibles d'être atteintes par les débits d'origine nivale au moment des maxima instantanés, ou tout au moins dans les 24 heures de plus grande abondance. Mais, en cela, nous devons surtout recourir à des hypothèses. Notre incertitude porte d'abord sur la part du volume total qui a pu s'écouler en un jour. Nous émettons peut-être une assertion d'une assez grosse imprudence, en avançant que sur le Guil inférieur le cube liquide maximum de 24 heures a pu être de 50 millions de m³. Si ledit chiffre s'approche de la réalité, il implique un écoulement de 69 millimètres. Cette lame d'eau avait pour origine une fraction de peut-être 130 millimètres de pluie tombés en un jour, et 24 à 28 millimètres (disons même 25 à 30 millimètres) d'eau de fusion¹⁶. Si le coefficient d'écoulement de la pluie maxima de 24 heures a été 65 % (contre le taux hypothétique de 53 % pour l'averse totale), une fraction de l'apport pluvial considéré, soit 20 à 25 sur 84 ruisselants, a pu être roulée par le Guil au-delà¹⁷ des 24 heures de plus grande abondance. Un décalage analogue a dû affecter une partie de la neige fondue, mais ce contingent mis en retard a été partiellement compensé lors des 24 heures en question par des eaux de fonte libérées durant les 12 à 24 heures précédentes. En définitive, il ne doit pas être déraisonnable d'attribuer à l'eau pluviale 49 à 52 mm sur 69 écoulés en 24 heures, et à l'eau nivale, 17 à 20 millimètres. Ainsi la part de la fonte dans le volume liquide de cette journée serait de 25 à 29 % (disons de 25 à 30 %) et d'un peu plus ou d'un peu moins d'un tiers si le quotient d'écoulement général a été plus voisin de 50 que de 60 % durant l'ensemble des 4 jours.

Puis après la pointe, durant le reste des 24 heures ici considérées, la part de la neige dans l'écoulement a certainement augmenté, parce que pendant la baisse, la neige continuait à fondre et que la pluie avait diminué beaucoup ou cessé. Peut-être au moment précis de l'apogée, le débit nival n'excédait-il pas 20 %, contre 25 à 30 % pendant 24 heures, et 28 à 35 % pendant 4 jours.

¹⁶ Chiffres rapportés à l'ensemble du bassin, et point seulement à la zone enneigée.

¹⁷ Car un écoulement de crue, étalé sur la surface réceptrice et partiellement retardé, dure toujours plus que la pluie et que la fonte responsables.

III. — CRUES DUES UNIQUEMENT OU DE FAÇON TRÈS PREPONDERANTE A DE GROSSES CHALEURS

1. Rivières alpestres.

Nous examinerons maintenant divers cas où l'écoulement avait une origine seulement nivale ou glaciaire, ou se trouvait renforcé par très peu de pluies, lors de gonflements fluviaux dus à des températures caniculaires. Nous qualifions ainsi celles qui atteignent pendant plusieurs jours aux heures les plus chaudes, 33 à 35° ou plus, dans l'avant-pays ou dans des vallées très profondes, comme le Grésivaudan, la basse Maurienne, le Valais vers Saint-Maurice ou Martigny. Dans ces occurrences le ciel est généralement clair¹⁸, le rayonnement solaire très actif, et nous pensons à priori que la fonte doit égaler ou dépasser les chiffres qu'elle réalise avec des températures moindres¹⁹ mais de fortes pluies.

a) Isère.

Nous connaissons, pour l'Isère à Grenoble, au moins 2 crues lors desquelles, pendant quelques jours consécutifs, les niveaux ont dépassé 3 mètres, soit 770 m³ pour le débit. La chose est arrivée en juin 1919 et 1937. Admettons pour ces circonstances²⁰ des maxima de 800 à 850 m³, et 800 m³ pour les débits moyens journaliers les plus forts, cela pour 5 721 km².

Attribuons tous ces écoulements à la fonte pour le jour considéré, et rapportons les volumes liquides uniquement aux surfaces situées au-dessus de 2 500 mètres, soit presque exactement à 1 000 km². On obtient pour la contribution nivale, 800 lit./sec. par km², soit 69 millimètres de neige fondue en un jour.

Mais en réalité, une partie point négligeable du débit de l'Isère à Grenoble, au moins 60 m³, devait provenir des sources. Et dans les deux cas que l'on vient d'envisager, la fonte de neige en 24 heures n'a pas dû dépasser respectivement 64 millimètres. Retenons 60 à 65 pour ces occurrences, et peut-être 70 à 75 pour le cas

¹⁸ Cependant des nuages de beau temps flottent souvent durant le jour sur les parties enneigées.

¹⁹ Dans les vallées les plus basses du bassin de la moyenne Durance, les températures *maxima* les plus fortes paraissent avoir avoisiné, le 13 et le 14 juin 1957, 24 à 25 degrés.

²⁰ Cf. Pardé (M.), Le Grésivaudan inondé, juin 1937 (*Revue de Géographie alpine*, tome XXV, 1937, p. 521-524).

où, au début de juin, la neige serait atteinte par des chaleurs sans précédent. Cela pourrait impliquer d'ailleurs sur les pentes les plus ensoleillées des fontes de 80 à 90 millimètres²¹. Le dernier chiffre correspondrait, selon une bonne formule actuelle, à 20 degrés pour la température moyenne journalière. Mais de telles chaleurs peuvent-elles se réaliser sur l'ensemble d'un versant très enneigé, entre 2 250 et 3 000 ou 2 800 mètres ?

En liaison avec ces phénomènes, nous ferons quelques évaluations relatives à une crue nivale notable de la Valloirette²², affluent méridional de l'Arc moyen, les 9-10 juin 1935. On a évalué le maximum à 50 m³, pour 93,59 km², près de Valloire, soit un peu plus de 500 lit./sec. par km². Mais on peut admettre qu'au moins 45 m³ venaient de 60 km², situés au-dessus de 2 500 mètres, soit 750 lit./sec. par km². Si le chiffre de 45 m³ peut représenter la moyenne de 24 heures, chose douteuse, il en résulterait une fonte de 65 millimètres. Le bassin de la Valloirette est orienté vers le Nord, et bien qu'il comporte une majorité de versants exposés à l'Ouest et à l'Est, donc ensoleillés longuement au début de juin, nous pensons que s'il débouchait vers le Sud la fonte eût été plus intense; peut-être eût-elle atteint 75 millimètres²³.

En cette circonstance, l'Isère à Grenoble ne cota pas plus de 2,50 m, soit 615 m³. Cela et quelques autres considérations nous font soupçonner qu'une grande crue uniquement nivale à Grenoble, soit 800 à 850 m³ pour le maximum²⁴, ne survient que si la neige surabondante et anormalement conservée à cause d'une fusion médiocre en avril et mai a sa limite inférieure au-dessous de 2 500 mètres, lorsque survient une vague de chaleur. Dans ce cas, la fonte ne représenterait pas plus de 50 à 60 millimètres sur

²¹ En réalité les fontes de neige ont sans doute dépassé tous ces chiffres journaliers d'au moins quelques millimètres qui se seraient infiltrés avant de parvenir aux stations hydrométriques considérées. Et nous omettons ici l'évaporation réalisée aux dépens de la neige. Elle peut ne pas être insignifiante. Mais des condensations occultes, phénomène encore extrêmement mal connu, compensent ou même surpassent peut-être l'évaporation directe que subit la couche nivale.

²² Pardé (M.), Inondations dues à la fonte des neiges, crues de la Valloirette et du Rhône alpestre en juin et juillet 1935 (*Revue de Géographie alpine*, vol. XXIII, 1935, fasc. 3, p. 655-659, 1 fig., 1 planche phot. hors texte).

²³ Mais, bien entendu, nos chiffres ne conviennent que si le débit de 50 m³ attribué à la petite rivière est suffisamment conforme à la réalité. Pour l'Isère à Grenoble, les débits sont exacts à peu de chose près.

²⁴ Cependant les très grandes crues, jamais survenues depuis novembre 1859, mais qui sept fois, de novembre 1651 à 1859, ont inondé Grenoble et débité sans doute plus de 1 700 ou de 1 800 m³, et probablement 2 000 ou plus en novembre 1651 et décembre 1740. Il se peut qu'en ces derniers cas, et en 1859, la fonte ait fourni 25 à 50 % du volume écoulé. Mais en juillet 1673, et en septembre 1733, le rôle de la neige a dû être à peu près nul.

1 200 km², ou un peu plus, sur lesquels elle aurait lieu. Et ses maxima sur l'ensemble de certains versants, depuis la limite inférieure de l'enneigement, seraient peut-être de 70 à 80 millimètres.

b) Rhône alpestre et affluents.

Dans le bassin du Rhône alpestre en amont du lac de Genève, les glaciers occupaient tout récemment 16,2 % de la surface réceptrice (sans doute à peu près 18 % il y a un siècle). Ce pourcentage est à peu près quatre fois supérieur à celui que l'on trouverait pour l'Isère à l'amont de Grenoble.

Deux grandes crues²⁵ du Rhône à la Porte de Scex, le 3 juillet 1897 et le 30 juin 1935, ont eu pour cause unique la fonte des neiges et des glaces. Leurs maxima ont été de l'ordre de 950 m³ pour 5 220 km². Et l'on peut admettre que les moyennes les plus fortes de 24 heures ont été en ces circonstances de 875 à 900 m³. Retenons 900 m³, et 850 pour les débits qui auraient eu lieu grâce aux sources si les crues en question ne s'étaient point produites. Et, d'autre part, admettons que les fontes ont intéressé seulement les parties situées au-dessus de 2 400 mètres. En réalité, certaines surfaces au-delà de cette altitude devaient être dégagées, mais diverses parties englacées s'étendent plus bas. Au-dessus de 2 400 mètres, on trouve 2 092 km². Retenons 2 000 km², soit 37,4 % du bassin, 850 m³ en un jour ont représenté 425 lit./sec. par km², soit 37,7 mm d'eau de fusion. Si l'on suppose, non sans trop de complaisance, peut-être, pour la neige que la fonte a eu lieu seulement au-dessus de 2 700 mètres, soit sur 1 326 km², on obtient 55 millimètres. Nous croyons la réalité plus proche de 40 ou de 45 mm que de 55.

Dans ce domaine, le versant méridional du Massif de l'Aar (ou Alpes bernoises), qui se dresse au Nord, doit éprouver les liquéfactions les plus intenses. De fait, nous avons à ce point de vue des données significatives pour la Massa, émissaire du plus grand des glaciers européens, celui d'Aletsch. Le maximum instantané de juillet 1928, produit par la seule fonte, a roulé 127 m³ pour 202 km² au total, soit 630 lit./sec. par km², chiffre assez imposant pour un débit de cette origine, mais peut-être 15 fois inférieur aux maxima spécifiques possibles par le fait de la seule pluie dans nos bassins vivarois et cévenols.

²⁵ Lesdits maxima sont cependant inférieurs à d'autres causés uniquement (septembre 1948) ou partiellement (juillet 1902) par la pluie. Ces derniers débits ont été de peu inférieurs à 1 100 m³.

Cependant, d'après des comparaisons²⁶ faites pour d'autres crues nivo-glaciaires puissantes, survenues en 1947, le débit moyen maximum de 24 heures, en juillet 1928, n'a pas dû dépasser 110 à 115 m³. Et d'autre part, la surface enneigée ou englacée devait avoisiner 150 km², dont 137 pour les glaciers, soit 63 à 66,5 mm pour l'eau de fonte et sans doute 75 à 80 en certaines parties et même 85 à 90 peut-être sur la langue glaciaire terminale qui s'avance jusqu'à une faible altitude au-dessus de 1 400 mètres.

Selon nos conjonctures, les bassins affluents situés sur les Alpes Pennines, malgré leur large englacement, éprouvent des fusions moindres parce qu'ils sont exposés au Nord. De fait, sur la Visp à Zermatt, lors des crues de juillet 1950, visiblement dues à la fonte seule, on trouve le 5 ou le 23 des pointes de 86 m³, et des moyennes journalières maxima de 63,4 m³, soit, pour 228 km², 378 et 278 lit./sec. par km². Les glaciers couvrent 142 km², la fonte devait avoir lieu sur 150 à 155 km². Soit, en 24 heures, 410 à 422 lit./sec. par km² de zone enneigée ou englacée, ou 35,2 à 36,3 millimètres. D'après les débits roulés par la Massa, aux mêmes jours on peut supposer que cette crue de la Visp n'était pas extraordinaire. Donc parfois, la fonte pourrait fournir à cette rivière 45 à 50 millimètres provenant des parties englacées ou enneigées, contre 65 à 70 pour la Massa.

2. Rivières nord-américaines.

Nous voudrions pouvoir invoquer avec une même sûreté relative d'autres exemples de fontes opérées dans les bassins de rivières états-uniennes ou canadiennes. Mais si nous connaissons divers maxima remarquables dus avant tout à ces phénomènes, nous ignorons, pour certains cas particuliers, s'il n'y a pas eu renfort pluvial. Et nous manquons de données sur les répartitions des altitudes, en des bassins montagneux dont les surfaces réceptrices, selon toute vraisemblance, n'étaient point totalement enneigées lors des événements considérés.

a) Bassin de la Columbia en mai-juin 1948.

Cependant, nous pouvons citer quelques chiffres assez significatifs de toutes façons et notamment divers maxima survenus dans

²⁶ Le 28 juillet 1947, il y eut 113-127 m³ pour le maximum, 94,2 pour la moyenne journalière la plus élevée; le 4 août suivant, 104-116 m³ pour la pointe et 95,3 pour 24 heures (d'après l'*Annuaire Hydrographique de la Suisse* pour 1947).

la région montagneuse occidentale, lors d'une très grande crue de la Columbia et du Fraser en mai-juin 1948. Nous savons²⁷ qu'une quantité tout à fait anormale de neige subsistait sur les bassins entre le 15 et le 24 mai. Puis la liquéfaction commença et fit rage sous des températures dont les maxima atteignirent, à l'altitude de 1 500 mètres, plus de 20 degrés pendant de nombreux jours. Cependant, outre des pluies torrentielles éparses, des cloudbursts, qui produisirent sur des ruisseaux et des petites rivières des crues exorbitantes, des pluies plus extensives mais modérées ajoutèrent une contribution pas négligeable à certains flots.

Dans le domaine de la Wenatchee, affluent du cours moyen, l'Icicle Creek pour 500 km² eut une pointe de 990 lit./sec. par km². Mais d'après l'allure du graphique, une fraction point négligeable du débit semble avoir été pluviale. De même sur la Cle Elum à Roslyn avec 622 lit./sec. par km² pour 504 km², puis sur la Stehekin, à l'issue de 960 km² (550 lit./sec. par km²). D'après l'allure des variations avant les pointes décisives, le débit dû aux neiges sur l'Icicle Creek, pendant 24 heures, a pu avoisiner 170 m³, soit 340 lit./sec. par km², ce qui, rapporté à *tout le bassin*, ferait 28 mm pour la fonte. Pour la Cle Elum, la neige a pu fournir en 24 heures une lame d'eau de grandeur analogue et la Stehekin a pu devoir à la même cause 280 m³ en 24 heures, soit 292 lit./sec. par km² ou 25,2 mm. Nous ignorons si ces écoulements, rapportés aux surfaces enneigées, devraient être multipliés par 1,5, par 2 ou par un chiffre supérieur. Peut-être moyennant des majorations logiques de ce genre trouverait-on, pour 24 heures, 50 millimètres au plus dus à la neige, ce qui ressemblerait aux chiffres alpestres, avec ou sans infériorité générale. Sans doute d'ailleurs certaines crues nivales dans les Rocheuses, les Monts des Cascades ou les reliefs voisins peuvent-elles être supérieures aux gonflements de 1948. Nous ne poursuivons point cette analyse rendue assez vaine par l'insuffisance de notre documentation.

Mais nous ferons remarquer le fait capital suivant. Nulle part, dans les bassins de la Columbia, en dehors des bassins minuscules atteints par des cloudbursts, les débits maxima de 1948 probablement dus pour 40 à 100 % à la neige n'ont présenté des valeurs spécifiques à beaucoup près égales à celles de crues pluviales très fortes comme celles du Tarn, de la Garonne, du Lot, de la Dordogne supérieure, de l'Ain, de la Durance, pour 2 000 à 10 000 km², ou comme celles de la Willamette et d'autres affluents ou sous-affluents de la Columbia inférieure. Cela confirme bien que pour des bassins

²⁷ Floods of may-june 1948 in Columbia River Basin (*Geological Survey*, paper 1080, Washington, 1949, in-8°, 476 p., 27 fig., 12 pl. hors texte).

petits ou moyens, les fontes de neige ne peuvent fournir en un ou deux jours des lames d'eau équivalentes à celles des averses qui engendrent les crues des rivières indiquées ci-dessus, par exemple 80 à 120 millimètres en un jour, 150 à 200 en deux jours sur 5 000 à 10 000 km², 100 à 150 en 24 heures, 180 à 220 en 48 heures sur 1 000 km². Et il faudrait tout ignorer des réalités hydrométéorologiques pour attribuer à la fonte des neiges des crues dont les maxima seraient seulement le quart des débits cévenols, texiens ou japonais, ou indiens, pour moins de 3 000 ou de 1 000 km².

b) Rivières de la plaine centrale nord-américaine.

Les crues nivales dans le Nord-Ouest de la plaine états-unienne et sur le bouclier canadien ne sont sans doute, tout au moins celles du *Far North-West*, point alimentées par des réserves très considérables de neige. Avant l'événement assez mémorable d'avril 1952 dans le bassin du Missouri supérieur, la lame d'eau disponible au 20 mars, sur les Etats de North et de South Dakota, ne représentait nulle part sensiblement plus de 150 mm. Elle était sur de bien plus grandes étendues comprise entre 50 et 100 millimètres. Et avant la grande inondation d'avril-mai 1950, sur la Rivière Rouge du Nord qui, coulant du Sud au Nord, à l'Ouest du Lac Supérieur, entre dans le Canada pour passer à Winnipeg, l'accumulation nivale sur ce bassin et sur certaines parties du Mississipi supérieur était encore moindre. Mais on a l'avantage pour ces zones d'y expliquer presque entièrement par la fonte, et de pouvoir rapporter à la totalité des surfaces réceptrices, les écoulements produits par cette cause²⁸.

Ils sont en général modiques, et les chiffres que nous allons citer nous paraissent représenter des cas déjà remarquables.

Si l'on considère les maxima d'avril 1950, la Turtle River à Manvel (N. Dakota) a débité 508 lit./sec. par km² pour 959 km². La Forest River (même Etat) a roulé 360 lit./sec. par km² pour 1 286 km². La Tongue River à Akra a eu un maximum de 880 lit./sec. par km² pour 381 km², et la branche Sud de la Park River, pour 590 km², a débité 620 lit./sec. par km².

Cependant, les moyennes journalières maxima représentent pour la Tongue River 392 lit./sec. par km² et 34 mm d'eau de fonte;

²⁸ Cf. entre autres documents : U.S. Department of the interior, Geological Survey, Water supply Paper 1137 - B - Floods of 1950 in the Red River of the North and Winnipeg River basins, Washington, 1952, in-8°, 325 p., 29 fig., 13 pl.

Et W.S. Paper 1260 - B - Floods of avril 1952 in the Missouri River basin, Washington, 1955, in-8°, 302 p., 25 fig., 15 pl.

pour la Turtle à Manvel, 304 lit./sec. par km² et 26,6 mm; pour la Forest River 240 et 20,6 mm. Quantités pas du tout insignifiantes, cependant bien inférieures aux lames d'eau de fusion que l'on relève assez souvent dans les Alpes. Mais tout d'abord, les eaux écoulées ne représentent pas toute la neige fondue. Celle-ci a dû, sur les plaines en question, subir par le fait de l'évaporation et de l'infiltration un déchet vraisemblablement pas énorme, mais supérieur à celui sans doute mince qui affecte l'écoulement nival et glaciaire dans les petits bassins de haute montagne. Puis, et là est peut-être le fait principal, en l'espèce une intumescence fluviale, même sur des bassins point plus vastes que quelques centaines de km², dure, surtout dans les plaines, bien plus que les fontes de neige ou que les averses responsables. Et par exemple, en avril 1950, sur la Turtle River à Manvel, sur la Forest River à Minto, sur la Tongue River à Akra, le gros des gonflements, baisse comprise, est concentré en 3 ou 4 jours, mais les montées bien plus rapides que ce que nous jugions naguère possible lors des fontes en plaine, n'ont occupé que 24 à 36 heures ou un peu plus. Et il y a lieu de supposer qu'une très forte partie de la neige préalablement existante a disparu durant ces courts laps de temps et que la fonte a été totale après 3 ou 4 jours au plus. D'où notre idée que la neige réellement fondue pendant les 24 heures les plus critiques, a pu avoisiner le double des quantités évaluées plus haut, à savoir 40 à 60 millimètres²⁹. Et peut-être des fontes encore plus brutales, aussi bien que des liquéfactions beaucoup plus lentes et progressives, peuvent-elles se produire au début du printemps en ces régions.

Lors de la crue qui affligea le réseau moyen du Missouri en avril 1952, la plupart des maxima élémentaires furent faibles. Cependant, vers la frontière canadienne, un Mac Eachern Creek a débité un jour 23,3 mm, et un Middle Creek 21 mm, etc... Les montées sur ces rivières semblent avoir été plus longues (2 à 4 jours) que lors des phénomènes précédemment cités d'avril 1950. Et l'on peut, avec certaines chances d'approximation passable, estimer que la neige fondante a dû fournir en ces secteurs jusqu'à 35 ou 40 mm d'eau en 24 heures, évaporation et infiltration non déduites.

Nous voudrions savoir si sur le bouclier canadien, dans le domaine du Saint-Laurent, en aval des Grands Lacs, les crues

²⁹ Ces derniers chiffres seraient peut-être le double des plus forts écoulements en un jour astronomique ou « légal » de minuit à minuit. Les moyennes réelles maxima de 24 heures commencent en général à partir d'heures différentes de minuit. Et elles dépassent parfois de beaucoup les débits moyens présentés pour un jour légal.

nivales peuvent comporter en 24 heures des écoulements nouveaux qui impliqueraient des fontes égales ou supérieures aux chiffres que nous venons d'avancer. Mais nous n'avons là-dessus, ou n'avons pu encore exploiter aucune documentation sûre. Nous savons seulement que, vu l'abondance des précipitations totales et la rigueur des froids hivernaux, les accumulations de neige peuvent être là bien plus fortes à la fin des hivers³⁰ qu'au Nord-Ouest de la grande plaine dans le Minnesota, les deux Dakotas, l'Alberta, etc. Mais les maxima connus des rivières pour 5 000 à 10 000 km² et plus nous paraissent modérés ou médiocres, même là où des traversées de lac ne les réduisent pas ou guère. D'où le soupçon que dans la région laurentienne, les hausses des températures au-dessus des couvertures neigeuses seraient moins brutales que plus à l'Ouest et au Sud-Ouest. Il en résulterait, par jour, des fontes locales moins intenses, mais sensiblement plus durables que dans les petits bassins fluviaux états-uniens, ci-dessus examinés. Ce n'est qu'une hypothèse bien fragile, et toute la question, point encore abordée à notre connaissance, exige impérieusement une étude approfondie.

3. Cours d'eau soviétiques.

a) Valeurs possibles.

Sur la manière dont s'opère la fonte, aliment de beaucoup primordial, lors des crues printanières dans les plaines soviétiques d'Europe³¹, nous ne sommes pas mieux renseigné que pour les phénomènes laurentiens analogues. Nous savons seulement que pour 10 000 à 20 000 km², les crues records ne sont pas formidables

³⁰ Cf. Veyret (P.), *La neige au Canada (Revue de Géographie alpine, tome XXXIX, 1951, p. 533-570, 1 grande figure)*. D'après cet auteur, et conformément à nos estimations précédentes, une grande partie de la région laurentienne doit recevoir en année moyenne des quantités neigeuses représentant 250 à 350 mm et plus d'eau atmosphérique. Même si une fraction de ces totaux fond par saccades, avant le réchauffement décisif, la couche nivale subsistante, à la fin de mars, doit être bien plus considérable même qu'en Russie et, à plus forte raison, que dans la Prairie canadienne et états-unienne. Et donc si les fontes étaient brutales et rapides, les rivières non coupées par des lacs éprouveraient des crues nivales supérieures à celles que l'on constate à ce qu'il nous semble.

³¹ Cf. Kolupaila (St) et Pardé (M.), *Le régime des cours d'eau de l'Europe orientale (Revue de Géographie alpine, tome XXI, 1933, p. 651-748, 12 fig.)*; puis des mêmes auteurs, *La Volga, Etude Hydrologique (Annales de Géographie, 15 janvier 1934, p. 32-48, 2 fig.)*. Et *Documents nouveaux sur la Volga (Annales de Géographie, 15 janvier 1936, p. 98-95)*. En outre, le Professeur Kolupaila m'a envoyé, sur les crues records en Union Soviétique, toute une documentation bien plus récente.

ni même vraiment très fortes, sauf dans le secteur de l'Oka, grand affluent sud-occidental de la Volga et dans quelques domaines fluviaux voisins en Russie centrale.

La modération bien plus courante des maxima et la lenteur des montées, aux débouchés de 10 000 km² et plus, doivent avoir pour causes la faiblesse des reliefs et des pentes, autant ou plus que le fait hypothétique d'une médiocre intensité des fontes. Certes celles-ci ne peuvent égaler en 1 ou 2 jours, sur de petits bassins, des pluies diluviennes comme il en tombe aux Etats-Unis, même dans les zones pas plus accidentées que la plaine russe. Mais il est fort possible que sur plus de 5 000 et de 10 000 km², dans cette région, la fusion nivale puisse dépasser en abondance les pluies russes extensives les plus fortes de 24 et 48 heures. D'autre part, sur 1 000 et 500 km², les liquéfactions de la neige fournissent sans doute moins d'eau que n'en déversent certaines pluies orageuses soviétiques, et celles-ci très certainement doivent avoir un avantage écrasant en une à quelques heures, sur quelques dizaines et peut-être quelques centaines de km². Mais leur rendement hydrologique est probablement souvent mince, tandis que les eaux des fontes massives, ruisselant sur des terrains saturés ou encore gelés, doivent n'avoir point subi de pertes considérables lorsqu'elles atteignent les ruisseaux et les rivières.

Les exemples cités pour la crue d'avril 1950, dans les Dakotas et les zones environnantes, nous font nous demander si, en Russie, pour des bassins de quelques centaines de km², les maxima ne peuvent point être obtenus après des montées de 2 à 3 jours seulement; nous dirions même : un jour, si nous ne trouvions une objection dans le fait que les accumulations nivales, sur la plaine russe, dépassent sensiblement à la fin des hivers les valeurs de ce genre que l'on trouve normalement pour le Minnesota, les Dakotas, l'Alberta, etc... Nous avons lieu de croire que ces réserves représentent *en moyenne*, selon les bassins, de 120 à 180 mm en eau de fusion. La disparition totale de ce manteau doit demander au moins quinze jours.

Et le grand hydrologue lithuanien St Kolupaila, maintenant professeur à l'Université Notre-Dame dans l'Indiana, et savant spécialiste de l'hydrologie soviétique, nous a donné le renseignement qui suit. Avant les crues exceptionnelles dans la plaine russe, les quantités d'eau disponibles à l'état de neige pourraient atteindre de 200 à 300 millimètres, puis être liquéfiés en 5 à 15 jours. Cette dernière indication peut signifier des choses différentes en ce qui concerne les intensités journalières des fusions. Et nous voudrions savoir si la couverture nivale russe peut être exposée à des chaleurs

aussi grandes en avril et dans les parties septentrionales, au début de mai, que celles qui liquéfient la neige dans les plaines nord-américaines susmentionnées. Faute de connaissance là-dessus, nous n'avions pas la certitude qu'en 24 heures la fusion peut fournir, sur de petits bassins, en Russie 60 à 80 millimètres. Mais nous ne jugeons pas à priori impossible que parfois l'intensité puisse atteindre 40 à 50 mm en un jour, 80 à 100 mm en 2 jours, 100 à 120 mm en 3 jours. Cela n'égalerait pas bien sûr, notamment en un jour la moitié des averses océaniques possibles sur le Jura, les Vosges, les Préalpes du Nord, les Alpes, les Pyrénées occidentales et centrales. Mais ce serait plus que la majorité des chutes d'eau susceptibles de frapper, sur 20 000, 10 000 et même sur 5 000 km², les plaines de l'Europe centrale et de l'Europe occidentale, en dehors de certains secteurs méditerranéens. Aussi les crues nivales soviétiques sont-elles très inférieures pour ces étendues aux gonflements de maintes rivières allemandes et françaises, issues de montagnes point creusées de profondes dépressions intérieures qui sont des zones d'abris contre les averses extensives cycloniques. Mais les débits maxima russes dépassent sensiblement les apophyses fluviales possibles dans les bassins de la Seine (en dehors du haut Morvan), puis dans les domaines non ardennais de la Meuse, de la Tamise, de l'Escaut, etc... Et nous n'éprouverions pas une surprise excessive si, dans les domaines de l'Oka et de quelques rivières voisines, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Moscou, à cause de réchauffements plus brusques et plus intenses qu'ailleurs, on pouvait avoir en plaine des maxima records de l'ordre de 600 lit./sec. par km², pour 1 000 km², et de 800 lit./sec. par km² pour 500 km². Ces pointes excéderaient de beaucoup les débits les plus élevés du Grand Morin, de l'Ouanne, du Loing, de l'Ouche, du Loir, de la Sarthe, de l'Orne, etc... Elles supposeraient, soit des fontes avoisinant ou même excédant 60 et 70 millimètres en un jour, soit des apports pluviaux point négligeables (conjonction certainement possible) s'ajoutant aux 40 à 50 millimètres envisagés plus haut pour la fusion. Cependant, en dehors des bassins russes considérés, et peut-être du domaine de la Petchora, au Nord-Est, les maxima que nous connaissons pour 10 000 à 30 000 km² sont, comme nous l'avons vu, relativement modérés, quoique plus forts que dans les plaines d'Europe centrale et occidentale³². Et ce résultat nous semble, peut-être à tort, peu compatible dans la majeure partie de la Russie européenne avec les maxima spécifiques ci-dessus envisagés, pour 500 et 1 000 km².

³² Et surtout les crues relativement grandes et pas très éloignées des records sont bien plus nombreuses en Russie d'Europe. Car, en vertu du régime nival de plaine, un fort gonflement y a lieu chaque année sur chaque rivière.

b) Diversité dans les taux journaliers et les mécanismes de la fusion.

D'autre part, une très grande variété doit se voir selon les années dans le rythme de la fusion. Les durées de 5 à 15 jours indiqués pour elle, en un petit bassin donné, par le Professeur Kolupaila, impliqueraient pour 200 millimètres, chiffre déjà supérieur aux réserves nivales ordinaires, des fontes journalières comprises entre 40 et 13,3 mm; ou de 20 mm si les 15 jours s'appliquaient à une tranche nivale tout à fait extraordinaire, et lourde de 300 millimètres. Par contre, on peut se demander si, en certaines circonstances, 120 ou 150 millimètres ne peuvent pas être libérés par la fonte en 2 ou 3 jours.

. Au cas de fusion relativement lente et modérée (par exemple 20 millimètres par jour pendant 8 ou 10 jours, en moyenne), on doit avoir des crues qui, moyennant une contribution pluviale, débiteraient au plus 300 à 450 lit./sec. par km², pour 500 à 1 000 km². Ce serait encore autant ou plus que lors de phénomènes déjà assez rares dans les plaines d'Europe occidentale. Et la longueur des ondes élémentaires, la durée pendant quelques jours des étales, ou la répétition en 5 à 10 jours de deux ou trois maxima de fonte sur chaque petite branche des réseaux, seraient comme partout ailleurs propices à des concordances efficaces entre des flots relativement considérables de toutes les artères dont les bassins totalisent 25 000, 100 000 km² et plus. Pour plus de 25 000 et en tout cas de 50 000 km², on aurait des maxima comparables ou supérieurs à ceux que donneraient, en cas de fontes aussi brusques que possible, les combinaisons entre des ondes élémentaires bien plus hautes à l'issue des petits bassins (moins de 2 000 et de 1 000 km²) que lors des fusions progressives, mais pointues et courtes.

c) Très grande puissance relative des crues nivales soviétiques pour les vastes bassins.

Nous devons faire paraître, sans doute assez prochainement, un ouvrage sur les crues maxima records dans le monde. Nous n'avons pu y analyser les débits soviétiques de fusion issus de petits bassins, car nous n'avons presque pas de renseignements sur de tels phénomènes. Mais nous avons montré que, d'amont en aval, la puissance relative des maxima soviétiques exprimée par le coefficient ³³

³³ Q est le débit maximum brut, en m³/sec.; S la surface réceptrice en km². A vaut 6 à 7 pour la Seine supérieure, 10 à 12 pour l'Yonne, 40 pour la Dordogne à Bergerac et le Lot, 70 pour la Garonne à Toulouse, seulement 13 à 20 pour la plupart des cours d'eau soviétiques de plaine à l'issue de 10 000 à 20 000 km²,

$A = \frac{Q}{VS}$ peut doubler ou même tripler lorsque la surface réceptrice passe de 10 000 ou de 20 000 à 500 000 km² ou à bien plus. Et l'on ne trouve guère ailleurs dans le monde des maxima aussi puissants pour des bassins aussi vastes.

La chose prouve que l'alimentation en neige liquéfiée des inondations russes, sur des surfaces réceptrices démesurées, est tout à fait remarquable. Point cependant par ses valeurs journalières appliquées à de vastes bassins. On ne trouverait peut-être pas ainsi plus de 15 à 18 millimètres pendant 10 à 12 jours ou de 10 à 12 millimètres pendant 18 à 20 jours, ou de 8 à 10 millimètres pendant 25 jours. Mais de telles fournitures en eau atmosphérique sur un demi-million ou un million de km², à savoir au total 150 à 240 millimètres en 10 à 20 jours égaleraient presque les plus imposantes séries pluvieuses constatées dans le monde pour les mêmes temps totaux, sur des bassins aussi étendus. Et leur rendement hydrologique des neiges fondues de cette façon massive et persistante est en principe supérieur à celui de la plupart des pluies fournissant les mêmes totaux pour les raisons déjà exposées (coefficients d'écoulement plus forts).

Dans ces considérations relatives aux très grandes crues soviétiques de plaine, il y a des remarques à peu près irréfutables basées sur des chiffres, des faits certains, ceux de débits. Pour l'explication des causes nous recourons beaucoup aux hypothèses qui tiennent bien peu compte, sauf en termes vagues, des apports pluviaux.

C'est que nous ignorons presque totalement les rôles joués par ceux-ci en telles ou telles circonstances. Mais nous jugeons peu douteux qu'en général cette participation est tout à fait secondaire à côté de l'influence nivale³⁴.

mais 40 pour 327 700 km² du Dniepr à Kiev, 52 pour 350 100 km² de la Dvina, 61 pour 1 208 160 km² de la Volga à Kouibychev; plus de 50 déjà, véritable anomalie, pour 55 000 km² de l'Oka à Kalouga.

Le coefficient $A' = \frac{Q}{S} \frac{2}{3}$, meilleur pour les très petits bassins, plus déficieux pour les grands, indique aussi une forte augmentation en puissance relative des crues nivales russes pour des surfaces réceptrices devenant très vastes.

³⁴ Point sans doute à l'Est-Sud-Est de la Sibérie, où interviennent, dans le bassin sud-oriental de la Léna et sur l'Angara, des pluies *estivales* que l'on peut rattacher aux averses de moussons. Les crues consécutives sont inférieures dans l'ensemble aux crues nivales de fin de printemps, mais parfois déjà fortes.

IV. — ROLES DES FUSIONS NIVALES LORS DE CERTAINES GRANDES CRUES ALPESTRES SURTOUT PLUVIALES

Nous terminons cet examen des phénomènes par quelques remarques sur les causes probables de certaines crues alpestres, moins nivales sans doute que certains le prétendent.

1. Crue de septembre 1920.

Par ses causes générales : afflux pluvieux méditerranéen, avec vent d'Est-Sud-Est à Sud-Est, ou « lombarde », à travers les Alpes jusqu'en Maurienne, en Tarentaise, dans le Valais, etc... et précipitations violentes dans ces régions frontières et encore plus sur l'avant-pays piémontais, la crue ³⁵ des 23-24 septembre 1920 a ressemblé à celle des 13-14 juin 1957. Cependant elle a intéressé des surfaces plus vastes, puisqu'elle a produit en plus une poussée remarquable sur l'Inn supérieur, sur les affluents méridionaux du Rhône alpestre, et notamment sur la Visp. En tous ces secteurs, et encore bien plus sur le Rhin alpestre, ses maxima ont dépassé ceux de juin 1957. Elle l'emporte aussi sur l'ensemble du bassin padan. Et notamment sur le Pô, juste après le confluent avec le Tessin, à la Becca, elle a coté 6,78 m contre 5,90 m en 1957 et 7,86 m pour le record connu de mai 1926. A la Maison du Roy, sur le Guil, elle a pu débiter, supposons-nous, 300 à 350 m³, contre un peu moins le 15 mai 1948, et 700 à 800 peut-être le 14 juin 1957. Sur l'Arc supérieur, son infériorité par rapport au flot de 1957, d'ailleurs peu grandiose en soi, est bien moindre. Elle aurait roulé 350 à 400 m³ vers Modane, contre 450 à 500. Mais sur les torrents issus de la chaîne frontière vers Modane, en particulier sur les fameux Envers, Ambin et Charmaix, elle a été bien plus forte et plus brutale que le phénomène récent ³⁶.

Plusieurs auteurs supposent que la fonte des neiges a joué un rôle important dans sa genèse, tout en reconnaissant l'action considérable d'une forte pluie en la circonstance. Il est certain qu'après 4 ou 5 jours de chutes d'eau discontinues mais quotidiennes, un refroidissement survenu dans la nuit du 22 au 23 a transformé la

³⁵ Cf. Gex (abbé F.), L'inondation du 24 septembre 1920 en Maurienne et dans les Alpes occidentales (*Revue de Géographie alpine*, tome VIII, 1920, p. 487-533, 2 pl.).

³⁶ D'où la vraisemblance que ce dernier a eu son maximum de supériorité sur l'Arc, tout à fait en haute Maurienne, vers Bonneval, Bessans, Termignon, Lanslebourg, avant le confluent avec l'Envers et l'Ambin.

précipitation en neige de chaque côté de la chaîne frontière, en Maurienne jusqu'à Bonneval (1 800 mètres d'altitude), où l'on nota 10 centimètres de neige fraîche, soit à peu près 10 millimètres d'eau. D'après la modération générale de ces chutes préparatoires et les températures dont nous avons connaissance, nous jugeons très suspecte ou même peut-être fantasmagorique l'assertion rapportée par M. Tricart (p. 620) selon laquelle il y aurait eu *plus de 1 mètre* de neige immédiatement avant la crue, vers 2 000 mètres, dans le bassin du Guil.

Quant aux pluies tombées surtout dans la soirée du 23, et pendant quelques heures après minuit le 24, nous ne savons par aucune observation quels chiffres elles ont représenté dans les bassins supérieurs de l'Ubaye, du Guil et des torrents mauriennais orientaux. Mais nous avons tout lieu de croire qu'elles ont été diluviennes à proximité de la frontière. En effet elles ont atteint sur le revers piémontais des Alpes 191 mm à Bobbio Pellice (bassin du Pellice), 175 mm à Villar-Perosa (Chisone), 225 mm à Forno, 270 à Lanzo, 300 à Balme, etc... dans le bassin de la Stura di Lanzo; 250 à Noasca, 225 à Locana, 275 à Piamprato, dans le domaine de l'Orco³⁷.

Et M. O. Lütschg³⁸ a signalé des précipitations déjà très massives sur les Alpes Pennines du côté suisse, vers la frontière méridionale et aux cols : en un jour 112 mm à Mattmark; et dans les totalisateurs mesurés alors quotidiennement : le 23 de 0 à 24 heures, 239 mm à Weisstal (2 270 m), 231 à Galmen (2 690 m), 183 à Alalin (3 360 m).

Plus au Sud on recueillit 201,5 mm les 23-24 à Domodossola, 156,5 le 23 et 109,5 le 24 au lac d'Avino.

On précise qu'un très gros orage sévit dans la région de Mattmark, du 23 au soir jusqu'au milieu du 24. Ces renseignements ne prouvent pas que la fonte n'a pas pu fournir 10 ou 20 mm d'eau, rapportée à la totalité des petits bassins montagneux. Mais ils font tomber sous le sens qu'il s'est agi essentiellement d'une violente crue pluviale. Aussi bien le maximum *naturel* de la Visp de Saas à Mattmark, à savoir 131 m³ pour 37 km², ou 3 540 lit./sec. par km², est plusieurs fois supérieur à ce qu'aurait pu fournir une fonte nivale record sous des températures caniculaires en juillet. Il y aurait gros à parier qu'en Maurienne et dans le Queyras aussi la fusion n'a joué alors qu'un rôle très subsidiaire.

³⁷ Cf. Pardé (M.), Quelques indications sur le régime des rivières alpestres piémontaises (*Revue de Géographie alpine*, tome XIV, 1952, p. 383-420).

³⁸ Cf. Lütschg, *Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge*, Zürich, 1926, 31 × 23 cm, 479 p., 142 fig., 47 pl. hors texte.

2. Crue de mai 1856.

Il est fort possible que ce facteur ait compté plus dans la genèse de la plus forte crue connue auparavant sur la Durance, jusque vers Serre-Ponçon, celle du 30 mai 1856. En cette circonstance, la rivière aurait, d'après l'Ingénieur en chef Auriol, débité 1 180 m³ à Saint-Clément, et l'Ubaye ayant été formidable, 2 300 à Rousset. Mais les calculs qui ont abouti à ces chiffres ont presque certainement commis une exagération très sensible.

Ils ont dû reposer sur la formule de Chézy. Et si nous en jugeons par d'autres emplois de cette équation, à l'époque considérée, pour les maxima des rivières inégalement calibrées en largeur, très inclinées, rapides et tumultueuses avec lits de cailloux, les valeurs retenues pour le coefficient C ont majoré indûment les vitesses et donc les débits. Pour l'Ardèche, en 1857, l'exagération a pu être de 35 à 40 % et, pour le Rhône à Lyon, en mai 1856, de 25 à 30 %. Il y a de fortes chances pour qu'elle ait affecté la haute Durance dans des proportions analogues.

Nous avons jusqu'à présent admis qu'il suffirait de réduire à 1 800 m³ le chiffre donné par M. Auriol pour le maximum au pont de Rousset, donc aussi à Serre-Ponçon. Nous soupçonnons maintenant qu'un débit de l'ordre de 1 600 m³ serait peut-être aussi vraisemblable. Et dans ce cas, la crue de 1856 n'aurait point tout à fait égalé celle de 1957. De toutes façons, elle a dû lui être inférieure à Saint-Clément même si, à tort ou à raison, nous n'appliquons ici qu'une réduction modérée au chiffre de M. Auriol, en prenant 1 000 à 1 100 m³ au lieu de 1 180.

D'après cette comparaison assez peu aventureuse pour son sens général, et d'après ce qui semble établi pour le rythme de la pluie responsable, le maximum du Guil a dû être très inférieur (peut-être de 30 ou 40 % ?) à celui du 14 juin 1957.

La cause était une averse générale d'une extension peut-être inégalée pendant plusieurs siècles en France (là-dessus nous reviendrons bientôt). En outre, l'intensité pluviale a pu être bien plus sévère sur l'Ubaye que sur le Guil et la Durance à l'amont de Montdauphin.

La pluie, sans doute moins brutale partout (même sur l'Ubaye) que celle qui frappa la moitié orientale du Queyras en juin 1957, a été certainement beaucoup plus abondante (avec un avantage d'au moins 100 à 200 %, croyons-nous, en maints secteurs) dans tout le reste du haut bassin de la Durance. Et elle a dû tomber avec une vigueur génératrice de ruissellement énergique pendant une durée plus grande : au moins 40 heures, du 28 au 30 mai, contre 30 heures. Aussi les eaux restèrent-elles proches des maxima, sur les branches

élémentaires, bien plus longtemps que lors de l'inondation récente. A Rousset, donc à Serre-Ponçon, il y eut une étale d'au moins une douzaine d'heures, fait remarquable pour une rivière aussi violente et pour un maximum aussi fort.

Comme de juste, puisqu'il s'agissait d'une crue alpestre et qu'évidemment des surfaces étendues, vu la date, devaient être encore couvertes de neige, on a dit que celle-ci avait été liquéfiée en abondance parce que la pluie était tiède, ou chaude. C'est fort possible, bien que très souvent³⁹ les pluies alpestres de saison chaude soient froides ou assez fraîches, par rapport aux conditions météorologiques antérieures ou postérieures. De toutes façons, le volume liquide total de 5 ou 6 jours, pour les crues de fin mai ou de juin, dans ces parages, ne peut guère ne pas comprendre un gros contingent d'origine nivale⁴⁰. Mais pour savoir si en cette occurrence, et surtout lors du jour de plus gros débit, l'eau de fonte a représenté une forte proportion de l'écoulement (par exemple plus de 20 %), il nous faudrait connaître sur les détails météorologiques de l'événement (pluies sur le bassin et températures) des chiffres qui nous manquent presque en totalité.

Cependant, avoir l'œil sur ce qui s'est passé en dehors de son champ principal d'études n'est jamais inutile. Et nous savons qu'aux mêmes dates, en beaucoup de zones limitrophes, et même dans une grande partie de la France où il ne pouvait y avoir de neige à fondre (sauf quelques plaques dans les Préalpes et le Massif Central), les pluies ont suffi à causer des crues grandes ou même remarquables. Il en résulta les records actuellement connus pour l'Allier à Moulins, le Cher inférieur, la Loire en aval de Gien, jusqu'au confluent avec la Maine exclusivement. Les maxima furent très imposants pour la Loire à Nevers, l'Arroux, l'Indre, maints cours d'eau dans le bassin de la Saône, puis sur le Tarn et le Lot moyens et inférieurs, sur la Garonne inférieure, puis pour l'Ain, le Fier, le Rhône supérieur, et pour toutes les rivières du bas Dauphiné : Bourbre, Gère, Galaure, et encore sur le Garon, le Gier et la Cance, dans la région nord-orientale du Massif Central qui envoie ses eaux au Rhône entre Lyon et Saint-Rambert-d'Albon. Le Drac inférieur éprouva une intumescence point égalée depuis lors. L'Isère à Romans n'a peut-être jamais été plus forte après novembre 1651. La Drôme à Crest a pu débiter 800 m³, soit 540 lit./sec. par km², et le Roubion à Montélimar, sans doute près de 500, soit

³⁹ Et comme, sans doute le plus souvent de beaucoup, en plein été.

⁴⁰ Sauf s'il vient une vague d'air froid qui règne pendant plusieurs jours après le maximum. Rien ne nous informe que ce fut le cas aussitôt après le maximum du 30 mai 1856.

800 lit./sec. par km². La crue de la Saône fut très sérieuse (surtout pour cette saison). Celle du Rhône l'emporte sur toutes ses rivales antérieures et ultérieures à Lyon, puis jusqu'à Saint-Vallier, et de nouveau à Valence. En aval, elle dispute la prééminence en maints points avec avantage au cataclysme de novembre 1840 (toutes deux l'emportent de beaucoup à partir de Tournon sur les autres grandes eaux rhodaniennes).

Et nous avons quelques données sur les pluies qui ont frappé certains lieux dans le bassin du Rhône en cette circonstance. Elles furent, non pas à proprement parler torrentielles, mais extrêmement fortes. A Lyon 148,5 et 139,7 en moins de 45 heures, dont 100 et 96 en un jour ⁴¹; aux Poullins, près de Tournon, 170 mm, dont 132 en un jour (chiffre qui peut-être s'appliquerait plutôt à 30 ou 36 heures); à Valence 165, dont 75 un jour et 78 le lendemain; à Nantua 150 en un jour (?); à Genève 80, à Grenoble 98 au total, dont 68 en un jour.

Par malheur ces indices peuvent aussi bien laisser entendre 100 que 150 millimètres sur le bassin de la haute Durance, en amont de Serre-Ponçon. Et d'autre part sur le volume total de la crue et sur les pluies écoulées par elle, notre seule quasi-certitude est que les débits présentés par M. Auriol impliqueraient pour toute l'intumescence à Serre-Ponçon des valeurs bien trop fortes, à savoir près de 600 millions de m³ et 165 millimètres écoulés. Si nous réduisons ces chiffres d'un tiers, ce qui peut être raisonnable, on trouve 110 millimètres pour le débit total. Avec un quotient d'écoulement de 60 %, débits de base non déduits, on aurait une alimentation de 183 millimètres. Et selon que la pluie a déversé 120 ou 150 millimètres, il faudrait attribuer à la neige 63 ou 33 millimètres, soit 34,2 à 18 % du volume total de la crue. Aucune de ces proportions ne nous étonnerait. C'est tout ce que nous pouvons dire. Et la part de la neige a été moindre, si le quotient d'écoulement brut a été supérieur à 60 %, ce qui n'est pas absolument impossible.

Au contraire, la neige aurait fourni plus de 35 ou de 40 %, si la pluie a été inférieure à 120 mm et si le quotient d'écoulement brut n'a pas atteint 50 %. Ces derniers chiffres ne nous paraissent point les plus vraisemblables. Et nos préférences, assez timides, vont au plus à des taux de l'ordre de 20 à 25 % représentés par la neige en 5 ou 6 jours, et de 15 à 20 % lors du maximum. Et pour tout le bassin du Drac, les phénomènes auraient été de même

⁴¹ Pour la crue de mai 1856, en général. Cf. les pages 347-370, du deuxième tome (Genèse des orues) de notre livre sur le Régime du Rhône, Institut des Etudes rhodaniennes de l'Université de Lyon, et P. Masson, éd., Lyon, in-8° raisin, 1925, 2 tomes 887+440 p., 117 fig.

ordre. Mais on a vu à quel point sont fuyantes les données disponibles sur eux. Nos incertitudes à leur sujet sont telles que nous ne pouvons déclarer impossible une participation nivale du tiers, ou de plus, au volume total de la crue. Mais en songeant à la puissance des maxima survenus le 29 ou le 30 mai 1856 en France, à l'issue de bassins point enneigés, nous jugeons plus logique un rôle assez restreint de la fonte, tout au moins dans le débit moyen journalier le plus fort.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le rôle de la neige dans les crues mériterait d'être étudié bien plus qu'il ne l'a été jusqu'à présent. Sur lui, comme sur la responsabilité primordiale du « déboisement », lors de toutes les crues graves ⁴², on lit à chaque instant trop de racontars dénués de toute base scientifique ⁴³ ou simplement de logique élémentaire. La rareté ou même l'impossibilité de grandes inondations sans fontes de neige est un slogan cher à la masse, et même à une quantité de personnes instruites et non dénuées de réflexion par ailleurs.

Et ces croyances de principe entêtées, et devenues souvent (on ne sait pourquoi) passionnelles, ont fait écrire trop d'assertions légères ou même de franches sottises ⁴⁴. Maints protagonistes de la fonte des neiges n'ont pas l'air d'avoir recherché si, dans les cas en question, il y avait eu de la neige à fondre, ni si réellement elle

⁴² Combien de bonnes âmes vitupèrent le déboisement, même... quand on ne l'a point pratiqué... ou qu'il a affecté seulement des fractions infimes du bassin fluvial en question. On en vient parfois à se demander si certaines de ces gens ont compris qu'il faut de la pluie, ou des fusions nivales, ou ces deux causes associées pour causer une crue, et que le déboisement réel ou supposé ne suffit point à gonfler les rivières sans apport d'eau atmosphérique. D'autres commentateurs, moins inconscients, comparent les crues produites avant et après le reboisement ou le déboisement sans paraître se douter que ces comparaisons ne valent que pour des pluies et des saturations préalables analogues, ou dont on a pu apprécier les différences, qui se reflètent plus ou moins dans les inégalités entre les crues.

⁴³ « Le 2 août 1804, dit un auteur cité par Gallouédec, dans un livre sur la Loire (Paris, Hachette, 1910, 347 p.), après une longue sécheresse et un été brûlant, on vit tout à coup la Loire s'élever (à Blois) à 18 pieds, cette crue insolite fut le résultat de la fonte tardive des neiges qui couvraient les montagnes de l'Auvergne. » Puis un certain Delamarre, dans son traité de la Police, expliquait « les inondations de la rivière d'Allier par la fonte des neiges qui la grossit extraordinairement vers le mois de juillet ».

⁴⁴ Cf. Pardé (M.), Influence de la couverture nivale sur le ruissellement et spécialement sur les inondations, Assemblée générale à Oslo, 1948, de l'Union géodésique et géophysique internationale (Assoc. Internationale d'Hydrologie Scientifique, Oslo, tome I, rapport n° 20, p. 175-181).

a fondu, en assez grande abondance, vu son épaisseur et les surfaces occupées par elle, pour fournir dans les proportions prétendues les volumes liquides mis en jeu par les intumescences. Même certaines personnes, dont on aurait attendu plus de bon sens et de savoir, semblent ne connaître aucun ordre de grandeur sur les pluies possibles d'un ou de quelques jours, d'une ou de quelques heures, en maintes régions, y compris celles qu'ils habitent et celles pas forcément lointaines d'où émanent les rivières sur les crues desquelles ils émettent des explications. Et leur ignorance paraît aussi radicale sur les quantités d'eau susceptibles d'être libérées sous telles et telles conditions et dans des temps déterminés par la fusion nivale.

Dans son étude sur la crue désastreuse éprouvée par le Guil en juin 1957, M. Tricart a voulu étreindre les éléments du problème. Notre examen nous a conduit à croire qu'il a très fortement exagéré le produit de la fonte des neiges, notamment pour les 24 heures lors desquelles ce facteur a joué le plus.

Cependant, notre texte a montré que nous ne minimisions point l'influence de la fusion, notamment lors des crues nivales de plaine, dont la plupart ont avant tout et parfois uniquement ce phénomène pour cause. Et retournant le problème en plusieurs sens, nous avons même acquis des notions nouvelles pour nous, puis incliné vers des conclusions qui amplifient quelque peu nos opinions précédentes sur l'intensité possible et sur le rôle certain de la fonte des neiges dans les plaines et collines. Nous avons vu que cette liquéfaction peut destocker par jour plusieurs dizaines de millimètres d'eau atmosphérique, valeurs bien moindres que les grosses pluies possibles et même fréquentes en une foule de régions, mais plus fortes que les averses ni orageuses ni locales auxquelles sont exposées bien des plaines (par exemple celles d'Europe occidentale y compris l'Allemagne) non menacées par des précipitations frontales à vaste extension.

A vrai dire, dans les mêmes territoires peu élevés, de latitude moyenne et point soumis aux climats continentaux froids, la neige effectivement disponible pour la fusion ne contient presque toujours qu'une lame d'eau inférieure au montant cependant médiocre des plus grandes averses extensives possibles sur ces secteurs en hiver. Aussi les très grandes crues dans lesdites régions, même lorsque la fonte y participe, s'expliquent-elles principalement par les précipitations liquides ⁴⁵.

⁴⁵ Cependant la plus grande crue connue de la Seine, celle de janvier 1658, aurait, d'après certains témoignages, eu pour cause prépondérante la fonte d'une quantité de neige absolument exceptionnelle pour l'ensemble du Bassin

Dans d'autres domaines de la zone tempérée, la neige, grâce à l'existence de montagnes, peut représenter une accumulation liquide considérable. Mais l'abondance de sa contribution, lors des fontes, ne suffit encore pas à déclencher *seule de très grandes crues*. Car ici, lors des inondations pluvio-nivales, le renfort parfois volumineux de la fusion ne peut encore équivaloir (il s'en faut de beaucoup bien souvent) aux chutes pluviales très augmentées par les reliefs saillants, et qui dépassent par exemple, sans violence climatique spéciale, 100 à 150 mm en un jour, 150 à 200 en deux jours, etc...

Cependant, moyennant certaines conditions propices (forte couverture nivale sur une grande partie des bassins, élévation marquée des températures accompagnant les invasions pluvieuses), il arrive que la neige fournisse un cinquième, un quart, un tiers et parfois la moitié *du volume total* écoulé en plusieurs jours. Ce fut le cas (40 à 50 %) pour le Connecticut et le Merrimack en Nouvelle-Angleterre (Nord-Est des Etats-Unis) lors de la crue record sur ces rivières principales de mars 1936; peut-être aussi, avec des participations analogues, lors des crues automnales désastreuses de l'Isère à Grenoble (novembre 1651 et 1859, décembre 1740). Puis certaines grandes crues alpestres de mai ou juin, causées principalement par des averses remarquables, peuvent devoir à la neige 20 à 40 % de leur volume total, 15 à 25 % de leurs maxima. Ce fut le cas en juin 1957 et peut-être ⁴⁶ aussi en mai 1856 sur la haute Durance et le Drac.

Mais lorsque, dans les Alpes, la part de la neige approche de 100 % ou atteint ce chiffre, même si les crues en question menacent les records aux points considérés (Rhône alpestre), c'est qu'il s'agit de phénomènes fluviaux en soi assez modestes. Ils sont tels surtout pour plusieurs milliers de km², et par contre réellement déjà forts (mais tout dépend de la signification qu'on attache à ce mot) à l'issue de petits domaines très enneigés ou englacés comme celui de la Massa. Déjà ces crues ne peuvent égaler en violence les maxima jurassiens, préalpins, vosgiens, pyrénéens, d'origine pluviale, pour quelques dizaines ou centaines de km². Et ils font bien piètre figure à côté des maxima cévenols.

D'autre part, beaucoup oublient qu'en contrepartie de la fusion, il y a la *rétenion nivale* qui, pendant plusieurs mois ou même plus d'un semestre, immobilise les précipitations et prohibe l'écoulement

de Paris. La probabilité moyenne d'un tel phénomène serait peut-être de 0,0001 (1 en 10 000 ans). La crue de février-mars 1784, moindre que celle de janvier 1955 à Paris, mais énorme sur la Marne et l'Aisne, fut peut-être elle aussi principalement nivale.

⁴⁶ Mais nous répétons bien : *peut-être*.

au-delà de certaines altitudes, sur un tiers, moitié, deux tiers ou plus des bassins fluviaux de haute montagne, aux latitudes moyennes. Le fait a lieu presque inmanquablement au-dessus de 2 000, ou même de 1 200 à 1 500 mètres, lors des averses dont cependant on remarque la tiédeur aux basses altitudes de novembre à avril.

Puis, même au cœur de l'été, bien des pluies alpestres sont assez froides pour se déposer en neige au-dessus de 2 500 ou de 2 200 mètres. Bien mieux, lors des deux averses les plus remarquables (avec celle de juillet 1897) qui aient frappé le bassin austro-bavarois du Danube, depuis quelques siècles, la précipitation est tombée en neige aux jours où elle était la plus drue, jusqu'à des altitudes relativement très basses ⁴⁷ dans les Alpes orientales : 1 300 à 1 500 mètres en septembre 1899 et 1 000 à 1 400 en juillet 1954. Ce fait a soustrait au ruissellement, durant 2 ou 3 jours, des volumes liquides notables. D'où une très sensible atténuation pour les débits de pointe à Passau, à Linz et à Vienne.

On peut même dire qu'en haute montagne la rétention nivale atténuée bien plus les crues que la fonte ne les aggrave, car la différenciation des températures liée à celle des altitudes, en chaque heure, fait que la fusion ne peut s'opérer partout à la fois depuis le pied jusqu'en haut des versants. Même lorsque des températures caniculaires dans les fonds de vallée attaquent, en mai ou juin, la neige conservée en abondance, jusqu'à des altitudes anormalement basses pour la saison, l'inégalité thermique selon les hauteurs empêche la fonte d'être très active au-dessus de 2 800 ou de 3 000 mètres, alors qu'elle fait rage plus bas, entre 2 600 et 2 200 ou 2 000 mètres par exemple. Mais au-dessous de ce dernier niveau elle n'a déjà plus d'aliment. Et ainsi de suite. Ces décoordinations dans l'espace vertical étalent sur plusieurs semaines, voire sur un mois et demi à deux mois, la fusion alpestre ou pyrénéenne ou caucasienne. Si elle se déchaînait également à toutes les altitudes, au début du printemps, les crues consécutives rendraient inhabitables, par exemple, les sites d'Innsbruck ou de Grenoble.

Dans les plaines et les petites montagnes aussi, des chutes de neige contemporaines de pluies tièdes et brutales affectent d'autres secteurs des mêmes bassins, peuvent réduire sensiblement la puissance des crues. L'inondation désastreuse de Pittsburgh, le 18 mars 1936, aurait eu un débit maximum plus fort de 15 à 20 % peut-

⁴⁷ Dans nos Alpes, un abaissement aussi spectaculaire pour la limite inférieure des neiges est beaucoup moins concevable lors des grandes averses de plein été. Car ces pluies tombent généralement de nuages poussés par des vents à composante plus ou moins méridionale et bien moins frais que les souffles nord-occidentaux qui se ruent contre les Alpes orientales, pour y causer les cataclysmes principaux.

être (et la catastrophe eût été fantastique), si la transformation en neige par le vent froid du Nord-Ouest n'avait figé l'averse au Nord sur environ un cinquième de la surface réceptrice totale, soit sur 10 000 km², correspondant au domaine supérieur de l'Allegheny River, qui s'unit à la Monongahela, à Pittsburgh même, pour y former l'Ohio. Il est vrai que, sur le secteur appalachien central et méridional de la partie ruisselante, des fontes accrurent le débit. Il n'est pas impossible que ce renfort ait compensé l'amoindrissement salutaire dû à la rétention. Quoi qu'il en soit, celle-ci a joué un rôle important dans le phénomène.

Enfin la fonte des neiges a sur les très grands domaines fluviaux russes des effets très imposants. Les maxima d'origine pluviale ne les concurrencent pour de très vastes aires de drainage qu'en Asie des Moussons, et peut-être jusqu'à un certain point, en Amazonie et sur l'Ohio inférieur. Cette majesté des crues sur la Dvina, la Petchora, la Kama, la Volga, tient au régime nival de plaine tel qu'il se manifeste dans la majeure partie de l'U.R.S.S. Et elle n'est réelle, pour les raisons que l'on a spécifiées plus haut (généralisation des fontes ou faibles décalages dans le temps pour elles sur d'immenses territoires et concordance entre flots élémentaires), qu'à l'issue de bassins très spacieux, plus de 300 000 km². Elle s'accroît même dans l'ordre relatif, pour des surfaces réceptrices accrues, alors que dans nos régions on observe bien plus communément le contraire. Et nous rappelons que pour des bassins petits et moyens, les crues nivales soviétiques sont simplement assez fortes, d'après les critères, c'est-à-dire les coefficients qui permettent assez bien de classer les débits maxima selon leurs puissances relatives en fonction des surfaces réceptrices. C'est dans le régime nival combiné de plaine et de montagne, au centre et au Nord-Est de la Sibérie sur l'Énisséi et la Léna, que la fusion nivale sans doute très prédominante, et décalée du Sud au Nord, c'est-à-dire de l'amont vers l'aval, ce qui aggrave les concordances entre les ondes élémentaires, engendre les gonflements les plus grandioses. D'après des évaluations très sérieuses⁴⁸, l'Énisséi débiterait jusqu'à 132 000 m³ pour 2 599 000 km² à Dudinka. Cela ferait 82 pour un coefficient A que nous avons défini plus haut dans une note. Et le même paramètre⁴⁹ vaudrait 77,5 pour la Léna à Kioussiour (2 378 000 km²).

⁴⁸ Renseignements fournis par le Professeur St Kolupaila d'après des publications soviétiques.

⁴⁹ A vaut environ 70 pour 935 000 km² du Gange, puis pour 1 010 000 et 1 445 000 km² du Yang-tsé-Kiang, mais plus de 90 pour 298 000 km² du Godaveri à Dowlaishwaran, et pour 390 000 km² de l'Irrawadi à Saikhta, puis plus de 100 pour 325 000 km² de la Rivière des Perles, en Chine méridionale. On a 52,5 pour 350 100 km² de la Dvina, 61,3 pour 317 260 km² de la Petchora,

On voit quelle diversité numérique, selon les grandes zones terrestres ou les régions plus restreintes, caractérise le rôle des neiges dans les crues et quels mécanismes, les uns favorables, les autres malfaisants, la rétention et la fonte nivales peuvent déclencher. Puis, en maints bassins fluviaux ces phénomènes et leurs résultats peuvent différer selon les circonstances, ou d'un secteur à l'autre de la surface réceptrice en question.

Bref, toute opinion relative au rôle de la neige risque d'avoir une faible valeur si on ne la fonde point sur de sérieuses connaissances générales et régionales, et sur une étude sagace des cas particuliers (mais cette remarque s'impose pour toutes les recherches scientifiques). En l'espèce, il est profitable de ne pas ignorer les chiffres types et les exceptions concevables, dans les cas débattus, pour les précipitations liquides et solides, pour les débits maxima et les volumes totaux des crues et pour les quotients d'écoulement. Cela aide à choisir entre les données numériques que l'on vous propose et les dires des témoins. Et si les slogans populaires sur les causes des inondations sont parfois véridiques, ils ne sont bien souvent que des sornettes.

55 pour 478 700 km² de la Volga à Gorkii, 50,5 pour 513 000 km² de la Kama à Tchistopol, 61 pour 1 208 000 km² de la Volga à Kouibychev, 72 pour 525 000 km² de l'Ohio.

En somme, on peut dire que, pour moins de 500 000 km², les crues pluviales dans l'Asie des Moussons ont encore un très gros avantage. Les crues nivales soviétiques n'arrivent au premier rang que pour un million de km² ou plus.

Sur les fontes des neiges lors des crues. La grande crue alpestre de juin 1957. Quelques données

Maurice Pardé

Revue de géographie alpine, Année 1959, Volume 47, Numéro 3
p. 325 - 361

[Voir l'article en ligne](#)

Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.