

Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues

Huguette Vivian

Citer ce document / Cite this document :

Vivian Huguette. Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues . In: Revue de géographie alpine, tome 57, n°1, 1969. pp. 53-84;

doi : <https://doi.org/10.3406/rga.1969.3391>

https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1969_num_57_1_3391

Fichier pdf généré le 19/07/2018

Abstract

Summary. — Despite the construction of retaining walls designed to protect the people living alongside the river Isère from rising waters, the town of Grenoble is still threatened by floods. Although for more than a century the river Isère has not known big floods (about 1 500 to 2 000 m³/s), such a possibility of flooding should not be dismissed. A calculation of the frequency of such floods-would allow that the maximum flow of 1 500 m³/s constitutes a centenary flood; now, on last September 23, the Isère rolled 1 000 m³/s at Grenoble, and overflowed, as foreseen, at certain weak points in the wall embankment. Therefore, it would seem vital to insure an efficient protection of that town.

Résumé

Résumé. — Malgré des travaux d'aménagement visant à préserver les populations riveraines des crues de l'Isère, la ville de Grenoble reste menacée par des inondations. Si depuis plus d'un siècle l'Isère n'a pas connu de grandes crues (1 500 à 2 000 m³/s), de tels dangers ne sont pas à oublier. Un calcul des temps de retour de ces crues permet d'avancer qu'un débit maximum de 1 500 m³/s caractérise une crue centenaire; or le 23 septembre dernier l'Isère a roulé 1 000 m³/s à Grenoble et, comme prévu, à débordé en certains points faibles de l'endiguement, prouvant par là l'existence d'un danger permanent. Il semblerait vital d'assurer enfin une protection efficace de l'agglomération au moins contre les crues de fréquence 1/50 et 1/100.

Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues

RÉSUMÉ. — *Malgré des travaux d'aménagement visant à préserver les populations riveraines des crues de l'Isère, la ville de Grenoble reste menacée par des inondations. Si depuis plus d'un siècle l'Isère n'a pas connu de grandes crues (1 500 à 2 000 m³/s), de tels dangers ne sont pas à oublier. Un calcul des temps de retour de ces crues permet d'avancer qu'un débit maximum de 1 500 m³/s caractérise une crue centenaire; or le 23 septembre dernier l'Isère a roulé 1 000 m³/s à Grenoble et, comme prévu, a débordé en certains points faibles de l'endiguement, prouvant par là l'existence d'un danger permanent. Il semblerait vital d'assurer enfin une protection efficace de l'agglomération au moins contre les crues de fréquence 1/50 et 1/100.*

SUMMARY. — *Despite the construction of retaining walls designed to protect the people living alongside the river Isère from rising waters, the town of Grenoble is still threatened by floods. Although for more than a century the river Isère has not known big floods (about 1 500 to 2 000 m³/s), such a possibility of flooding should not be dismissed. A calculation of the frequency of such floods would allow that the maximum flow of 1 500 m³/s constitutes a centenary flood; now, on last September 23, the Isère rolled 1 000 m³/s at Grenoble, and overflowed, as foreseen, at certain weak points in the wall embankment. Therefore, it would seem vital to insure an efficient protection of that town.*

Alors qu'un certain nombre de travaux ont été effectués pour protéger efficacement la zone du confluent Drac - Isère des crues du Drac (dont le régime a été, de plus, tempéré par la construction de nombreux barrages près de Grenoble), rien n'a été entrepris de façon aussi systématique et prudente pour lutter contre les colères de l'Isère pourtant si dévastatrices dans le passé. Le danger que constituent des crues iséroises pour l'agglomération et la plaine, en amont et en aval de la ville, est trop souvent ignoré ou oublié. L'éloignement dans le temps des catastrophes d'autrefois estompe

les craintes et incite à l'optimisme. En effet, depuis 1859 l'*Isère* a été exempte de grandes crues. Ce ne sont pas les débits maxima d'octobre et novembre 1928, de novembre 1944, de janvier et février 1955, dont les conséquences sont elles aussi oubliées par la population riveraine, qui contribuèrent à hâter la réalisation de travaux de protection suffisants. Les grandes initiatives suivent souvent les grandes catastrophes; elles ne les précèdent et ne les préviennent que trop rarement. Or, on le sait, le propre des grandes catastrophes est d'être fort heureusement assez rares; ceci explique peut-être qu'aucun des projets relatifs à une crue exceptionnelle de l'*Isère*, émanant des Services compétents des Ponts et Chaussées n'ait été pris en considération.

A ce propos, il nous semble nécessaire de rappeler, en fonction des crues anciennes et avec l'aide des calculs de probabilité, quel est le danger persistant que représente l'*Isère* pour l'agglomération de Grenoble et la basse région du confluent *Isère* - *Drac*!

I. Les crues de l'*Isère* à Grenoble : Importance et fréquence.

L'échelle du quai Perrière fut gravée vers 1840 et les cotes des crues anciennes furent repérées sur l'échelle par report à partir d'anciens repères, le 0 correspondant à peu près à l'étiage actuel. Le lit dans la traversée de Grenoble n'ayant pas été sensiblement modifié depuis un siècle, selon toute vraisemblance on a le droit de considérer comme invariable la correspondance hauteur-débit pour le siècle 1860-1965. De plus ni déboisement ni reboisement de grande envergure, ni construction d'importants barrages proches de Grenoble et susceptibles de modifier l'écoulement en amont de la ville n'ont été entrepris jusqu'à cette année 1968. Les barrages de Tignes et Roselend n'ont qu'un pouvoir d'écrêtement des crues fort limité; quant à ceux de Bissorte et du Mont Cenis, leur influence sur l'écoulement d'un débit exceptionnel est nulle. Tous ces barrages de haute altitude, d'après une évaluation grossière des Ponts et Chaussées, à eux tous réunis seraient capables d'arrêter, à condition toutefois qu'ils ne soient pas pleins, un débit maximum de 215 m³/s. Nous ne pouvons donc compter sur leur action modératrice dans l'éventualité d'une grosse crue de l'*Isère* menaçant Grenoble.

En bref, le peu de changement qui caractérise le bassin versant de l'*Isère* nous permet de disposer pour la station de Grenoble d'une série complète de débits maximums annuels entre 1860 et nos jours. Pour la période antérieure nous ne disposons que de données relatives aux très grandes crues.

A) *Les crues de l'Isère.*

La lecture de la liste des maxima fournie par le Service d'Annonce des crues montre qu'entre 1524 et 1859 l'Isère eut douze crues supérieures à 4 m, dont neuf supérieures à 5 m; qu'entre 1859 et 1963 aucune n'a dépassé 3,50 m, c'est-à-dire 800 à 900 m³/s.

Cette deuxième série de crues fut anodine pour Grenoble et n'eut de répercussions sérieuses que dans le Grésivaudan. Depuis cent ans donc, l'Isère est dans une phase de calme apparent, mais dont il faut souligner le caractère trompeur. Aucun grave changement dans la topographie du bassin et du lit; aucune perturbation profonde du climat régnant sur la Savoie et le Dauphiné ne peuvent rendre compte de ce qui doit apparaître comme *une accalmie toute temporaire.*

Comme le soulignait déjà M. Pardé en 1959 dans un rapport inédit sur les possibilités de crues de l'Isère, « l'examen des crues subies par d'autres rivières montre des caprices aussi frappants dans la distribution chronologique des phénomènes » (la Garonne, la Loire, l'Allier, le Rhin inférieur, l'Ain et la Saône, le Pô, etc.). *Croire que cette accalmie est définitive serait une erreur.*

Dans le passé antérieurement à la crue de 1859, des crues égales ou supérieures à celle-ci ont eu lieu :

— au XVII^e siècle :

Juillet 1673	5,40 m à Grenoble
Novembre 1651	6,50 m à Grenoble

— au XVIII^e siècle :

Février 1711	4,65 m
Septembre 1733	5,57 m
Décembre 1740	5,70 m
Octobre 1778	5,40 m

Comment ne pas penser qu'un avenir plus ou moins proche puisse ramener de tels phénomènes ! Bien entendu l'écoulement de la crue dans la plaine serait modifié par les travaux d'endiguement entrepris à partir de 1851. En fait, ils ne peuvent qu'augmenter, par rapport aux crues anciennes, la pointe de crue à Grenoble, puisque l'endiguement restreint l'épandage des eaux dans la vallée.

Il est difficile de caractériser pour des crues identiques à ces crues anciennes (même par rapport à celle plus proche de nous de novembre 1859), les niveaux susceptibles d'être atteints par l'Isère actuelle à l'échelle du quai Perrière (compte tenu des digues et quais, des terrassements à sec et prélèvements de graviers dans le lit, de la coupure de la boucle de Bois-Français, etc.). La suppression de champ d'inondation à l'amont nous amène à penser que

le flot arriverait au moins aussi fort, peut-être plus fort de nos jours qu'au XVIII^e siècle ou seulement qu'en 1859, soit à raison de 2 000 m³/s. Il reste à essayer de déterminer si, d'après le régime pluviométrique du bassin isérois et le régime de ce cours d'eau, l'impression de sécurité laissée par ce siècle de petites crues peut être vraiment jugée dangereuse. Rien ne peut motiver l'absence définitive de déluges identiques à ceux que connurent les siècles antérieurs; par contre nous reconnaissons avec M. Pardé que « dans un climat modéré mais non régulier (comme celui du Dauphiné-Savoie) il est normal que des fluctuations puissent abolir pendant plusieurs dizaines d'années, et même un siècle, des cataclysmes ». Le seul changement que nous pourrions peut-être noter dans l'écoulement des eaux depuis une trentaine d'années, d'après M. Bois¹, serait une légère baisse des modules, dans les Alpes et ailleurs (cette diminution de l'écoulement moyen, il est possible, avec beaucoup de précautions, de l'attribuer à un réchauffement terrestre et à une augmentation de l'évaporation, non à un fléchissement des précipitations). Selon toute conjoncture, cette baisse de l'écoulement ne se retrouverait pas au niveau des phénomènes exceptionnels, des excès du régime, c'est-à-dire des crues.

Actuellement, comme toujours, *l'Isère reste susceptible de grandes crues* en saison chaude et en automne surtout, bien que les crues de saison froide ne soient pas exclues.

Leurs causes sont, selon les saisons, déterminées par différentes combinaisons de facteurs. On distingue² :

- des crues uniquement pluviales;
- des crues de saison chaude d'origine en partie nivale;
- les crues pluvio-nivales de saison froide.

1) *Les crues dues à des causes uniquement ou principalement pluviales* ont lieu le plus souvent en automne, saison des grosses précipitations liquides (l'apport d'une fonte des neiges ne s'impliquant pas forcément). Une pluie tombée sur un sol saturé ou gelé, en quantité suffisante sur 50 à 60 % du bassin de l'Isère (au-dessus de 1 500 à 2 000 m s'exerce le phénomène de rétention nivale), peut très bien suffire à déclencher une crue. Ceci d'autant plus si les températures lors du phénomène cyclonique amenant la pluie s'élèvent et permettent la fonte des premières neiges jusqu'à 2 000 m ou plus, c'est-à-dire sur les trois quarts du bassin.

¹ D'après P. Bois, Assistant d'Hydrologie, Ingénieur-Docteur, Faculté des Sciences, Grenoble.

² D'après le Professeur M. Pardé. Rapport inédit sur les crues de l'Isère (1959) et du Drac.

D'après M. Pardé, des précipitations liquides de 130 mm en 36 h ou de 150 mm en 48 h, ce qui ne semble pas du tout impossible, tombant sur 4 000 km² de bassin (75 % de la surface), produiraient un écoulement de 500 à 600 l/s/km², soit, sans fonte nivale, 2 000 à 2 200 m³/s à Grenoble.

Certes, on peut penser qu'une conjonction désastreuse des différents facteurs : montée de la température, puissance et extension de l'averse, saturation préalable du sol, est fort aléatoire. En fait, des exemples des conditions analogues se retrouvent dans toutes les crues pluviales de l'Isère avec une conjonction imparfaite.

Rappelons que le 1^{er} novembre 1859 les températures à Grenoble s'élevaient à 18 et 19°, qu'en janvier 1899 l'amont de Grenoble reçut une averse de 138 mm (du 12 au 16 janvier), 130 mm du 18 au 21 janvier 1910, ceci impliquant des concentrations de 110 à 120 mm en 48 h, pour 1899 tout au moins. Seule la rétention nivale s'exerçant sur 70 % du bassin freina la montée des eaux. Plus proche de nous, en septembre 1940 et surtout en novembre 1944, dates auxquelles l'Isère à Grenoble atteignit sans trop de dégâts respectivement 3,17 m (16 septembre) et 3,45 m (26 novembre), les précipitations qui s'abattirent sur le bassin supérieur ne laissent aucun doute sur les possibles cataclysmes qu'une plus grande extension de l'averse aurait pu déclencher (extension sur la vallée de l'Arc par exemple).

En novembre 1944 on releva, du 21 au 25 novembre, après une succession de grosses pluies pendant toute la première quinzaine du mois :

- 149 mm à Argentine;
- 135 mm à Albertville;
- 116 mm à Chambéry;
- 148 mm à Saint-Pierre-d'Albigny;
- 91 mm à Chapareillan.

(Si au-dessus de 1 000 m d'altitude la rétention nivale n'avait pas immobilisé les 136 mm recueillis à Pralognan (1 390 m), les 125 mm à Sainte-Foy-Tarentaise (1 250 m), etc., la crue qui engendra tant par refoulement que par débordement l'inondation partielle de Saint-Martin-d'Hères aurait pu sans nul doute être plus puissante.)

En admettant qu'à cette saison le rapport ruissellement - pluie est de 70 %, une averse de 110 mm en 48 h sur 4 000 km² de bassin suffirait sans doute pour engendrer une crue de 2 000 m³/s à Grenoble (ce pourcentage de ruissellement n'est pas exagéré, car la

présence de basses températures en altitude, même en septembre, empêche une forte évaporation au-delà de 1 500 m).

2) *Les crues en partie nivales de saison chaude*, essentiellement localisées en juin, sont nombreuses. Certaines sont dues à la seule fusion, telle celle de juin 1937 (850 m³/s à Grenoble) déclenchée par de brusques chaleurs survenues après un gros enneigement et un retard de la fonte dans la saison. La plupart du temps c'est une pluie abondante, mais non extraordinaire, qui ajoute son effet à celui de la fusion nivale, celle-ci pouvant être antérieure ou postérieure à l'averse.

En juin 1955 et 1957 nous assistons à un tel processus de déclenchement de crue.

En juin 1957, au soir du 12, parallèlement à un réchauffement sensible de la température, une averse considérable amenée par des courants Est - Sud-Est s'abattit sur les Alpes italiennes du bassin de la Sésia à la Stura di Demonte. Les masses d'air humide entraînées par la Lombarde se concentrèrent sur les hauts bassins français de Tarentaise, Maurienne, Durance... La Maurienne fut parmi les plus touchés de ces bassins. On enregistra, en 24 heures, 204 mm à Avérole, 155 mm à Bonneval. Du 12 au 16 il tomba 300 mm à Bessans et Bonneval. A cette averse s'ajoutèrent les effets d'une fonte nivale (40 % du total écoulé).

La crue de l'Isère à Grenoble ne fut que de 3,18 m, soit 838 m³/s le 15 juin, étant donné la localisation très précise de l'averse sur le haut Arc surtout et sur la haute Isère en amont de Tignes (écoulement de l'Isère à Tignes 750 l/s/km²; Arc à Avrieux, 920 l/s/km²). Une extension plus grande qui aurait donné à l'Isère à Moûtiers un débit sensiblement égal à celui de l'Arc au pont de la Madeleine aurait amené à Grenoble une crue déjà très dommageable de 1 200 à 1 500 m³/s.

La part d'une fusion abondante paraît normalement plus probable dans le cas des crues pluvio-nivales de saison froide.

3) *Les crues pluvio-nivales de saison froide*. — A partir d'octobre tout le bassin isérois peut être enneigé jusqu'à 500 m (octobre 1939). Une pluie chaude sur la couverture neigeuse entraîne inmanquablement une crue de fusion qui s'ajoute à la crue pluviale.

Il n'est pas erroné d'imaginer (puisque ce fut le cas en 1939) une couverture neigeuse contenant 50 à 100 mm d'eau sur 4 000 km² de bassin. Une pluie de 150 mm en 48 h produisant un ruissellement oblige à conclure pour l'Isère moyenne à un débit

maximum de plus de 2 000 m³/s, peut-être même plus de 2 500 m³/s, dans le cas le plus grave.

Un enneigement moins grand et une pluie moins élevée doivent suffire pour engendrer une crue de 1 800 à 2 000 m³/s (cinq fois en trois siècles pendant l'automne). Ces crues se localisent surtout en novembre, décembre, mais aussi janvier et février.

En *décembre 1961*, pour la première fois depuis décembre 1918, une crue de plus de 3 m fut enregistrée à Grenoble (3,14 m; 826 m³/s). Le phénomène de rétention nivale quasi général sur l'ensemble du bassin isérois à cette période de l'année rend ce type de crue d'hiver extrêmement rare, mais nous voyons qu'il ne faut pas l'exclure pour autant. Dans ce cas précis, une averse de 48 h consécutives jointe à une hausse de température entraîna une fonte nivale jusqu'à 2 000 m d'altitude.

En *janvier 1955*, la crue de l'Isère, qui a coté seulement 850 m³/s le 15, fut engendrée par de fortes précipitations régnant sur tout le bassin versant jointes à une fonte prématurée des neiges à la suite d'un redoux excessif (+ 12° à 1 800 m le 12). Les précipitations sous forme de neige fondante atteignirent 252 mm à Tignes (1 560 m), 200 mm à Val-d'Isère (1 850 m), 164 mm à Sainte-Foy (1 250 m) entre le 10 et le 15 janvier. Pendant ce même temps, Beaufort (750 m) recevait plus de 200 mm de pluie, Moûtiers 172 mm, Albertville 150 mm et Chapareillan, dans le Haut-Grésivaudan, 143 mm. La crue de février 1955 atteignit 880 m³/s le 9, à la suite d'une fonte brusque d'abondantes chutes de neige tombées dans l'après-midi du 6 février et accompagnées de pluies le 7 et le 8 février.

On relève en 24 h, du 7 au 8 février :

- 136 mm à Argentine;
- 90 mm à Moûtiers;
- 70 mm à Chapareillan.

Au-dessus de 1 000 m, les précipitations neigeuses ayant contribué à la crue s'élevaient à 100 et 140 mm pour ces journées des 7 et 8.

Nous voyons donc que les chiffres de précipitations capables d'engendrer une crue de 1 800 à 2 000 m³/s se retrouvent localement pour les moyennes et petites crues de notre siècle.

En fait, dans tous les cas la rareté du phénomène de crue exceptionnelle tient avant tout au manque d'extension de l'averse plus qu'à sa puissance. Mais comment exclure une telle possibilité des caprices de la nature puisque les grandes inondations du xvii^e et du xviii^e siècle sont là pour montrer que dans les trois cas de type de crues, *une conjugaison néfaste de facteurs peut se réaliser ?*

Débits présentés par M. le Pr Pardé
en grossière approximation

— Crue d'automne :			
Novembre 1651	2 500	m ³ /s	à Grenoble
Septembre 1733	1 900	—	—
Octobre 1778	1 800	—	—
Novembre 1859	1 800	—	—
— Crue de saison froide :			
Février 1711	1 460	—	—
Décembre 1740	2 000	—	—
— Crue de saison chaude :			
Juin 1764	1 460	—	—
Mai 1816	1 100	—	—
Mai 1856	1 120	—	—

Déterminer la fréquence des crues iséroises et la valeur, même approchée, de la crue millénaire est une gageure, étant donné le manque d'homogénéité des statistiques. Toutefois, grâce à l'avis éclairé du Professeur M. Pardé et à l'aide du Laboratoire d'Hydrologie (Institut Polytechnique), nous avons pu obtenir quelques résultats positifs.

B) *Analyse statistique des données* ³.

Les données portant sur les mesures de crues à Grenoble qui sont à notre disposition (fournies par le Service des Ponts et Chaussées) couvrent les années de 1651 à 1963, mais malheureusement comportent de vastes lacunes. De ce fait, elles ont été traitées de trois façons différentes :

- en prenant toutes les mesures de crues de 1651 à 1963 représentant une population d'hétérogénéité temporelle, mais suggérée par M. Pardé dans ses études antérieures;
- en prenant toutes les crues maximales annuelles durant la période 1877-1929, cette coupure étant suggérée par l'homogénéité temporelle des données;
- en faisant l'hypothèse que les espaces vides pourraient être comblés par des débits maximums annuels de même fréquence que ceux dont nous disposons. Cette hypothèse est basée sur la remarque suivante : si les débits étaient de ceux que l'on caractérise de catastrophiques, ils seraient indiqués sur le dossier.

³ Travail en collaboration avec M. Ph. Bois, Assistant d'Hydrologie, Laboratoire de Mécanique des fluides, Institut Polytechnique, Grenoble.

On s'est limité toutefois à des débits inférieurs ou égaux à 800 m³/s auxquels on a attribué les mêmes fréquences qu'à ceux qui ont été notés. Cette analyse a été faite ainsi pour la période de 1651-1963, en comblant les espaces vides.

Bien que cette façon de procéder soit sujette à caution, nous verrons que les résultats obtenus sont, eux, fort valables.

Le problème de base consiste à trouver la loi de probabilité qui épouse le mieux les caractéristiques de l'échantillon, afin de déterminer les débits centenaires, millénaires...

Soient les éléments x_i de cet ensemble (X) constitué par les crues maxima annuelles rangées dans l'ordre décroissant :

$$x_1 < x_2 \dots \dots \dots < x_i < x_i + I \dots \dots < x_n$$

La fréquence moyenne est assimilée à la probabilité pour qu'un élément de X soit inférieur ou égal à x_i donné. Cette fréquence

est donnée par $F_i = \frac{i}{N + I}$ (N = nombre d'années d'observation).

Ce calcul de probabilité ayant comme données des crues maximales annuelles, la loi de Gumbel mais surtout celle de Fréchet peuvent être choisies parmi les lois de statistiques d'application féconde en hydrologie :

$$F(y) = e^{-y} \quad (y \text{ est fonction de } x)$$

$F(y)$ n'est autre que la fonction de répartition du phénomène de crue. Connaissant les valeurs de $F(y)$ il est possible de déduire celle de y à partir de tables.

La loi de Fréchet appliquée à l'échantillon donne un graphique portant en abscisses y et en ordonnées les valeurs des logarithmes des débits ($\log x$). La méthode des moindres carrés détermine la droite de meilleur ajustement, dont l'équation est :

$$\log x = 0,131 y + 2,803$$

$$\text{ou} \quad x = Q = e^{0,301 y + 6,454}$$

La relation liant la probabilité annuelle de dépassement p au débit Q_p est donnée par :

$$p = 1 - Fr, \text{ où } r = \frac{n}{N} \quad (n \text{ (nombre d'éléments constituant l'échantillon)})$$

(dans le cas de la loi de Fréchet, $n = N$, donc $r = 1$).

Dès lors il est aisé de lire sur le graphique les valeurs de crue et leur durée de retour.

— *Echantillon 1651-1963.*

Durée de retour

2 ans	10 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
$Q = 715 \text{ m}^3/\text{s}$	1 235	2 025	2 500	4 020	5 000

REMARQUE SUR LES RÉSULTATS :

Cette loi est ajustée à un échantillon semé d'espaces vides. On peut néanmoins penser que si les débits de crues ne sont pas portés sur le dossier, c'est qu'ils sont nettement inférieurs aux débits de grosses crues. Donc, dans la partie haute de la répartition ($\log x, y$) il n'y a pas plus de points que ceux qui ont été effectivement portés, par contre il faut imaginer un amoncellement de points nouveaux dans la partie basse de la répartition, points représentant des débits compris entre 300 et 800 m³/s. L'introduction, dans la série, de données des grandes crues des siècles passés rend excessive l'évaluation des débits pour toutes les valeurs de p .

— *Echantillon homogène dans le temps 1877-29.*

Cet échantillon a l'avantage de ne pas comporter d'espaces vides et l'inconvénient de ne pas insérer des débits très forts. L'équation de la droite de meilleur ajustement est :

$$\log x = 0,0802 + 2,765$$

La même loi de Fréchet appliquée à cet échantillon donne les résultats suivants :

2 ans	10 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
$Q \text{ m}^3/\text{s} \text{ } 620$	880	1 200	1 380	1 880	2 125

REMARQUE :

Les débits de prévisions sont sous-estimés indéniablement. On peut penser que la valeur la plus probable pour le débit millénaire est comprise entre ces deux valeurs 2 125 et 4 000 m³/s.

— *$N = 305$ années sans espace vide.*

La loi de Fréchet a été également appliquée à cet échantillon plus important en nombre. La droite de meilleur ajustement à ces données est traduite par l'équation :

$$\log x = 0,0891 y + 2,756$$

valeurs des débits relatifs à des probabilités annuelles de dépassement données p .

T = 2 ans	10 ans	50 ans	100 ans	500 ans	1 000 ans
Q m ³ /s 620	910	1 285	1 490	2 070	2 400

De loin, cette dernière évaluation apparaît comme la plus probable et proche de la réalité. Ces résultats se rapprochent de ceux que donnait le Professeur Pardé, à savoir : $Q = 2\,500$ m³/s pour la crue millénaire, ce débit étant estimé à partir de données topographiques, climatiques, etc. Par le calcul de l'intervalle de confiance pour la crue millénaire on aboutit au résultat suivant :

Il y a 25 chances sur 100 pour que la crue millénaire soit comprise entre 2 191 m³/s et 2 690 m³/s. Nous avons vu dans l'étude des processus de crue qu'un tel débit n'était pas impossible à atteindre (d'ailleurs il le fut dans le passé).

Par contre nous trouvons pour la crue centenaire une valeur qui nous paraît un peu faible. Cette faiblesse est peut-être due au fait que les espaces vides que nous avons comblés systématiquement par des valeurs de débits inférieurs ou égaux à 800 m³/s correspondent dans la réalité à des débits supérieurs dont les Ponts et Chaussées n'auraient pas eu de témoignage. Pour plus de prudence nous préférons avancer pour la crue centenaire une valeur comprise entre 1 500 et 1 800 m³/s (valeurs des grandes crues du xvii^e et du xviii^e siècle).

Les débits de crues et leur probabilité étant évalués, il est relativement aisé de déterminer si, effectivement, la protection contre les inondations érigée par les Ponts et Chaussées est efficace dans toutes les éventualités.

II. Les travaux d'aménagement de l'Isère dans le cadre d'une protection contre les crues.

A) Les travaux généraux de protection de Pontcharra au confluent.

A la suite des travaux d'endiguement effectués par la Savoie sur son territoire, les Français tentèrent d'entreprendre sur le cours de l'Isère, entre Pontcharra et Grenoble, un effort identique, effort d'autant plus indispensable que les crues maintenues entre digues jusqu'à Pontcharra transformaient la plaine du Grésivaudan en vaste champ d'inondation.

Avec Crouzot en 1830, Cunit en 1850, Gentil en 1860, ingénieurs des Ponts et Chaussées pour l'arrondissement de Grenoble, des projets généraux furent dressés. De tous, le projet conseillant un

redressement complet du lit de l'Isère par coupures des sinuosités et boucles et la construction de hautes digues insubmersibles était le plus radical.

En fait, entre 1850 et 1870, les multiples petits syndicats de riverains entreprirent quelques travaux : calibrage du lit par digues protégées en pied par des enrochements et des perrés maçonnés, notamment à l'aval de la ville. Les coupures de boucles, faute de crédit, ne furent pas menées à bien ; Grenoble, de plus, s'opposant à ce projet qui risquait de la transformer elle-même en exutoire pour les crues accélérées et endiguées à l'amont. La situation se stabilisa puis se dégrada entre 1870 et 1914.

— *De 1914 à 1957*, des crues d'importance toute moyenne entraînant des inondations dues à la fois à des infiltrations en contrebas des digues, à un relèvement de la nappe phréatique, à des débordements systématiques à l'amont (les bourrelets de protection n'étant efficaces que pour un flot de 700 m³/s), des remèdes successifs furent proposés.

Le projet qu'une Commission Interministérielle retint en juillet 1930 fut celui que dressa l'entreprise Schneider. Ce projet comportant exhaussement des digues et dragage du lit, remise en état des canaux, coupure des boucles à l'amont de Grenoble, trop peu financé, ne prit jamais corps dans son intégrité.

Remarquons qu'au cours des années 1930 à 1941, la préoccupation essentielle des autorités compétentes resta la protection de la plaine en amont de Grenoble, plus spécialement l'aménagement de ce terroir agricole regagné sur l'eau, beaucoup plus qu'une protection effective de l'agglomération, menacée essentiellement par les grandes crues (plus de 4 m). Toutefois, des refoulements par les « ruisseaux-égouts » de la Mogne, du Verderet... pour des crues à peine moyennes restaient à craindre (en 1944, les caves des immeubles entre Isère et boulevard Jean-Pain furent remplies d'eau presque totalement, et il fallut circuler en barque dans les rues de Saint-Martin-d'Hères proches du ruisseau Sonnant).

C'est seulement en 1947, après des essais sur modèles réduits réalisés par Neyrpic, qu'aboutit l'avant-projet Schneider dont l'idée directrice était d'utiliser la force même de la rivière pour procéder à un auto dragage, avec des résultats satisfaisants escomptés sur 20 ou 30 ans...

La crue de 1948 raviva l'intérêt de l'opinion publique pour une solution plus rapidement efficace, par dragages massifs le long du lit avec dépôts des graviers dragués sur les digues pour les exhausser. L'émoi causé par les dégâts de 1948 (dans la plaine et non dans la ville, il faut le préciser) s'atténuant, les crédits pour

Illustration non autorisée à la diffusion

Fig. 1.

les travaux se tarirent. A cette date 1968, à raison de 1 à 1,5 millions de nouveaux francs par an, 15 années de dragages sont encore nécessaires. Toutefois, l'état des travaux fut suffisant pour contenir (au ras des digues dans le Grésivaudan) la crue de l'Arc en juin 1957.

— *En 1960, dans la plaine en amont de Grenoble le lit pouvait encaisser des crues de 800 à 900 m³/s (décennale), 1 300 à 1 500 m³/s à l'aval, après le confluent avec le Drac. Les crues de janvier et février 1955, atteignant 850 à 900 m³/s à l'amont et 1 350 à 1 500 m³/s à l'aval de la ville (confluent), se sont écoulées sans dommage. Par contre celle de juin 1955 (868 m³/s amont, 1 800 ou 1 900 m³/s à l'aval) a causé des dégâts aux ouvrages et a remis en question l'utilité d'un renforcement des digues avec une revanche de 0,50 m. D'après les ingénieurs des Ponts et Chaussées, en amont du confluent Isère-Drac, une crue maximale non dommageable (710 m³/s) peut se produire tous les deux ans; une crue type ayant déjà produit des dommages connus et contre laquelle la protection est en principe assurée, semble-t-il, tous les 10 ans (de 8 à 900 m³/s). Par contre, la protection contre une crue de fréquence 1/100 et 1/500 de puissance sensiblement analogue à la crue de 1859, plus de cent ans après la catastrophe, est seulement à l'étude. Parant au plus pressé selon les tranches de crédit, le Service des Ponts et Chaussées a déjà obtenu, depuis 1960, de bons résultats dans la plaine amont et dans l'agglomération, pour un phénomène de crue non exceptionnel de 800 à 1 100 m³/s (plus aléatoirement 1 100 à 1 800 m³/s en amont, par exemple au niveau de Gières — Domaine Universitaire — donc peu efficace en fait !).*

Dans le cadre de ces travaux (nouveau projet Schneider) des profils du lit furent retracés entre 1948 et 1963 à l'amont et à l'aval de l'agglomération.

Nous pouvons nous rendre compte sur quelques-uns de ces profils du niveau qu'atteindrait par rapport aux quais ou digues une crue analogue à celle de 1859 (cf. fig. 1). En de trop nombreux endroits le débordement serait indubitable. Remarquons également que les tabliers des nombreux ponts grenoblois constituent, en cas de grosse crue (1 800 à 2 000 m³/s), autant de barrages remontant le niveau de crue à l'amont (la ligne d'eau de la crue de 1859 atteint pratiquement le tablier du pont de la Citadelle, celui du pont Marius-Gontard et de la Porte de France).

— *En 1967, la coupure de Bois-Français améliorant l'écoulement des débits à l'amont de la ville et les extractions d'entretien de matériaux de fond (3 millions de m³ de déblais au total) assu-*

Illustration non autorisée à la diffusion

Fig. 2.

rent une certaine stabilisation du lit et du profil en long ainsi qu'un approfondissement bénéfique de ce lit; mais *les travaux connexes de renforcement et de surélévation des digues* (ayant pour but final non seulement d'assurer un bon écoulement dans le Grésivaudan mais aussi dans la ville et au-delà), *dans l'éventualité d'une crue de 2 000 m³/s pour l'amont et 3 000 m³/s pour l'aval, restent à faire en grande partie* ⁴.

Le programme d'urgence qui a été adopté (à partir de 1956) fut limité à la protection contre une crue de 1 100 m³/s à l'amont de la ville, 2 000 m³/s à l'aval. De ce fait, si nous sommes assurés d'une protection que nous espérons efficace contre un flot de 1 100 m³/s, une crue supérieure à cette valeur aux portes de l'agglomération (Domène, Gières, Meylan, La Tronche...), dans la ville et jusqu'au confluent du Drac n'irait pas sans débordements catastrophiques *puisque aucune digue continue n'a été encore faite sur l'une ou l'autre des rives*, tant à l'amont qu'à l'aval.

Seuls quelques points jugés faibles dans les digues anciennes ont été exhausés, quelques tronçons (portés sur la carte fig. 4) construits, mais nous croyons inutile d'insister sur l'inefficacité de tronçons de digues non jointifs étirés çà et là le long du cours d'eau.

Les services d'aménagement de l'Isère, conscients de cette carence, réitèrent en vain les demandes de crédit; nous ne sommes pas loin de penser que seule une crue dommageable se répandant dans les nouveaux quartiers de banlieue résidentielle de Meylan, La Tronche (signalons que l'autoroute Grenoble - Chambéry constitue déjà une première protection pour la plaine située en arrière d'elle), sur le domaine Universitaire de Saint-Martin-d'Hères, dans l'agglomération et au niveau du Centre Nucléaire serait à même de remettre le problème des inondations iséroises au premier plan des préoccupations.

Les travaux d'endiguement à l'amont de Grenoble et la coupure de Bois-Français dont nous avons vu les avantages comportent des inconvénients pour l'aval du cours. La capacité de charriage étant accrue en amont de la ville, une surveillance des fonds est rendue indispensable pour déterminer le creusement susceptible de se produire au niveau de la correction de boucle et les transferts de dépôts vers l'aval (transferts susceptibles d'entraîner un relèvement du lit au niveau de Grenoble et à l'aval). Depuis 1965 les

* Les lignes d'eau correspondant à un flot de 1 100 et 2 000 m³/s portées sur le profil en long ont été reconstituées par le Service des Ponts et Chaussées et s'appliquent à des débits de 1 100 et 2 000 m³/s contenus entre digues de Pontcharra à Grenoble (fig. 2).

Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. I A.

Deux images du passé qui rappellent ce que peut être une grande crue de l'Isère à Grenoble et la permanence d'un tel danger. (Photos prises d'après des gravures d'époque.)

(Cliché Photo-Press.)

Illustration non autorisée à la diffusion

Inondations de l'Isère, à Grenoble. — Vue de la place Sainte-Claire, le 3 novembre 1859.

Pl. I B.

(*Gliché Photo-Press.*)

profils du fond, de Pontcharra au confluent, ont été retracés afin de calculer le bilan des volumes de déblais et de remblais; de même une surveillance active de la section traversant la ville jusqu'au confluent est exercée afin de pallier les dangers d'exhaussement. L'agglomération même de Grenoble depuis 1861 donna lieu à maintes mesures de prévoyance, toutes aussi incomplètes et insatisfaisantes, pour faire face au danger présenté par une crue centenaire et à plus forte raison supérieure.

B) *Les projets de protection de Grenoble et la protection effective actuelle.*

La crue de 1859, dont nous rappelons quelques conséquences, fut déterminante pour engendrer une politique de protection de la ville, mais les désastres s'oublient vite... (pl. I).

Le plan ci-contre (fig. 3) montre l'extension du champ d'inondation en 1859, et le tableau ci-dessous, quelques hauteurs d'eau dans le Grenoble d'alors. D'après les témoignages multiples (récits, marques sur les maisons et évaluations des Ponts et Chaussées), le flot de l'Isère en crue se répandit dans le Grésivaudan à l'amont de Grenoble et alimenta deux courants simultanés : un flot principal dans le cours d'eau normal évalué à 1 800 m³/s et un flot secondaire traversant le champ d'inondation de Gières au confluent en contournant les remparts de la cité, évalué à 200 m³/s. Entre ces deux flots s'étendait la zone inondée et recouverte par une nappe dont quelques cotes peuvent donner l'importance :

Rue Saint-Laurent	1,50 m
Angle rue Servan et rue Très-Cloîtres	1,50 m
Place Vaucanson	1,25 m
Place Grenette	1,22 m
Banque de France et bd Gambetta (cf. pl. I).	1,00 m

En comparant la cote de la ligne d'eau atteinte en 1859 au niveau des digues et la cote de différents quartiers du Grenoble actuel, il est aisé d'imaginer les méfaits possibles que commettrait en 1968 une crue identique, puisqu'en fait la protection, comme nous allons le voir, est imparfaite et que, de plus, l'Isère amont ne bénéficierait pas d'un champ d'inondation aussi large qu'au XIX^e siècle (on peut donc supposer l'arrivée aux portes de la ville d'un flot plus important qu'en novembre 1859) (cf. annexe I).

1) *La période de 1861 à 1866* se caractérise par des projets visant la surélévation des quais à une cote sensiblement supérieure à celle de la ligne d'eau 1859. Le projet de concentration du réseau d'égouts en un grand collecteur se déversant dans un canal latéral

Extension de l'inondation de Novembre 1859

par rapport au GRENOBLE actuel

(Document Ponts et Chaussées)

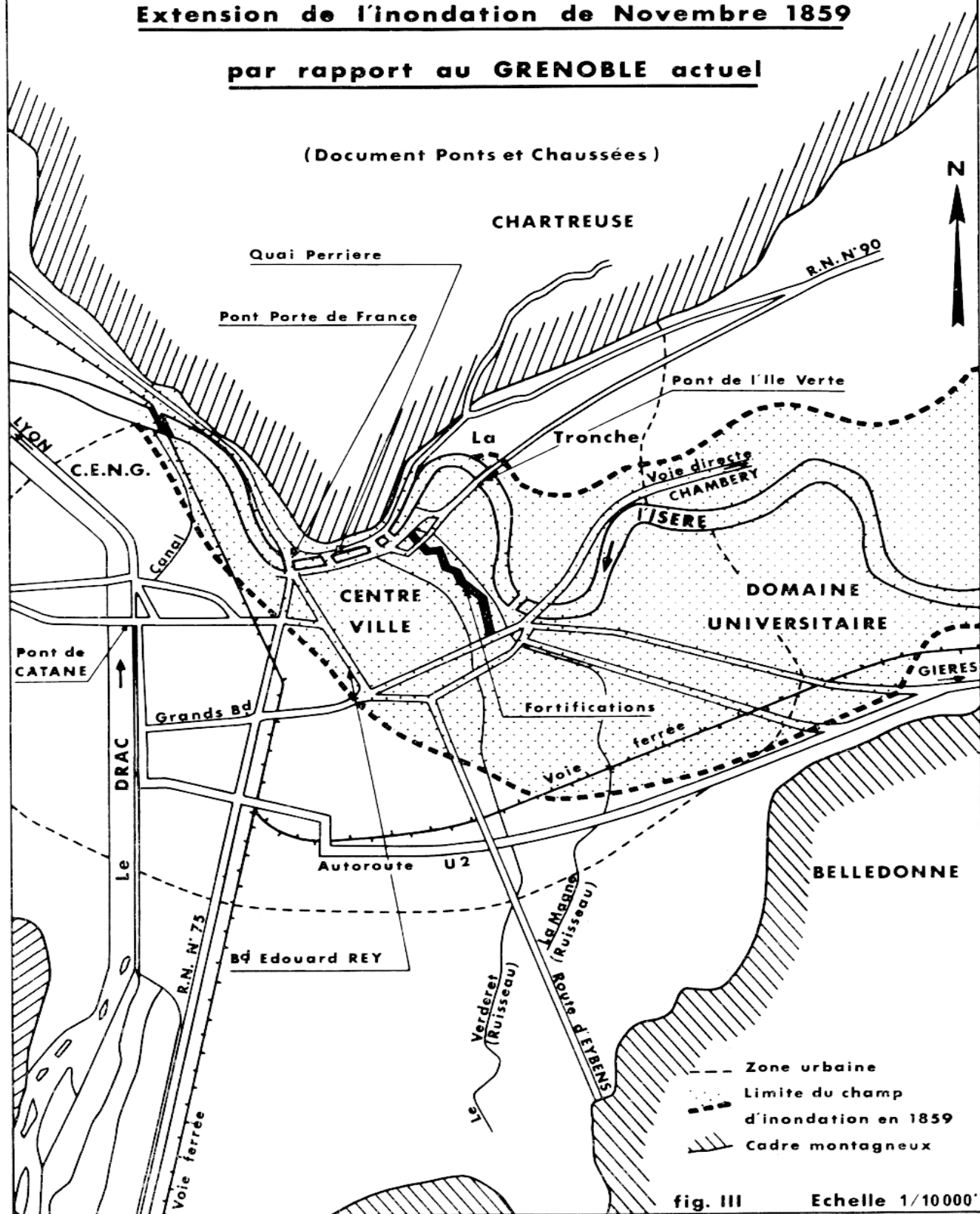


fig. III

Echelle 1/10000

Fig. 3.

parallèle à la voie ferrée vit le jour également, sans résultat concret. *En 1870*, les quais Claude-Bernard et de la Graille sont construits et la ville est protégée du côté Ouest par les fortifications du boulevard Edouard-Rey.

2) *En 1894*, ces fortifications furent remplacées par d'autres plus au Sud (Grands Boulevards actuels) et le plan de défense de la ville dut être repensé afin d'éviter une extension d'une inondation identique à celle de 1859. Le souci et le but des ingénieurs fut de faire de Grenoble une cuvette isolée au milieu du champ d'inondation, lequel serait drainé par un canal débouchant dans l'Isère à l'aval de l'agglomération.

Les rebords insubmersibles de cette cuvette furent constitués :

- au Sud et Est par les fortifications avec vannes obturées en cas de crue pour les ruisseaux et batardeaux pour les portes de la ville;
- à l'Ouest, les digues du Drac;
- au Nord par les quais, lesquels devaient être encore surélevés. Déjà le manque de crédits coupa court à ces projets.

3) *En 1901*, l'agglomération grandissante reste toujours aussi exposée et le fatalisme s'emparant des esprits dans les Services des Ponts et Chaussées, on en conclut qu'il était impossible de préserver Grenoble des grandes inondations tant que les quais ne seraient pas notablement surélevés. Tout au plus prescrivit-on des mesures susceptibles de retarder l'envahissement des eaux !

Sans entrer plus dans le détail des diverses discussions et projets, notons que de 1925 à 1946 de nombreuses modifications furent apportées au plan de protection, particulièrement à la suite de la démolition de la ligne Sud des fortifications et de la suppression des portes Est.

4) *En 1959 de nouvelles propositions sont avancées; en 1967, elles ne sont que partiellement concrétisées* (fig. 4). Le nouveau plan de défense de l'agglomération grenobloise prévoit la construction d'une *digue insubmersible* sur la rive gauche entre Gières et Grenoble (quai Jonking).

Commencée en 1957-58, *elle est provisoirement arasée pour contenir une crue de 1 700 m³/s de façon à peu près certaine, de 1 800 m³/s plus difficilement peut-être*, étant le peu de revanche prévue. Pour une crue de 2 000 m³/s elle devrait être surélevée en moyenne de 1,20 m. Sur les deux rives, *en amont du pont des Hôpitaux, deux perrés* solidement construits à la hauteur de la crue de 2 000 m³/s *viennent d'être terminés* sur quelques centaines de mètres au total et montrent l'ampleur des travaux à entreprendre

pour étendre cette mesure de protection tout au long du cours. La ligne d'eau de la crue de 2 000 m³/s arrive à 25 cm au-dessous du parapet dont la cote d'arasement est elle-même à 2 m au-dessus du terrain naturel.

Si le projet d'endiguement insubmersible voit un début de réalisation, il n'en est pas de même du plan de travaux pourtant plus anodin qui doit prévenir le *refoulement des égouts* et les submersions du quai de la Graille.

Actuellement les eaux usées sont collectées en grande partie par le canal Fontenay, le Verderet, la Mogne; tous ces collecteurs, au même titre que les égouts mineurs dont il est facile de repérer le débouché peu esthétique dans les quais en pleine traversée de la ville, restent comme autant de chemins libres pour les eaux de l'Isère en crue...

L'installation de vannes à clapet type Neyrpic à leurs débouchés reste à faire. Il est prévu un recouvrement partiel du canal Fontenay et son équipement en vannes étanches. Ce projet verra-t-il le jour prochainement ? Des dissensions entre la S. N. C. F. (propriétaire du terrain) et la Municipalité grenobloise semblent le rendre encore lointain. Seul le Sonnant, lors des travaux d'aménagement du Domaine Universitaire, fut canalisé souterrainement et ne présente plus aucun danger quelle que soit sa prise en charge.

Quant aux débordements au niveau des quais, en admettant que les ouvertures en soient hermétiquement fermées dès l'annonce de la cote d'alerte, la hauteur insuffisante des parapets les rend certains en maints endroits pour toute crue supérieure à 1 100 m³/s. Ces quais devraient avoir 70 cm de plus que la cote correspondant à la ligne d'eau de 1859 pour tenir compte du surélévement du fond causé par la suppression de la dérivation des eaux dans Grenoble et pour assurer une petite revanche (fig. 4).

● *Sur la rive gauche* nous trouvons des tronçons de quais suffisants pour parer à l'éventualité d'une grosse crue (1 100 m³/s à 1 800 m³/s) :

- entre le Téléphérique et le pont de la Citadelle;
- entre les ponts Porte de France et M.-Gontard;
- entre le pont suspendu et le débouché de la Mogne;
- au niveau du pont des Hôpitaux.

Ailleurs le manque de hauteur des parapets oscille entre 1 et 2 m.

● *Sur la rive droite*, seuls sont protégés :

- les quais au niveau du pont des Hôpitaux (amont);
- ceux qui relient les anciennes fortifications au pont suspendu;
- les berges entre le pont M.-Gontard et le confluent.

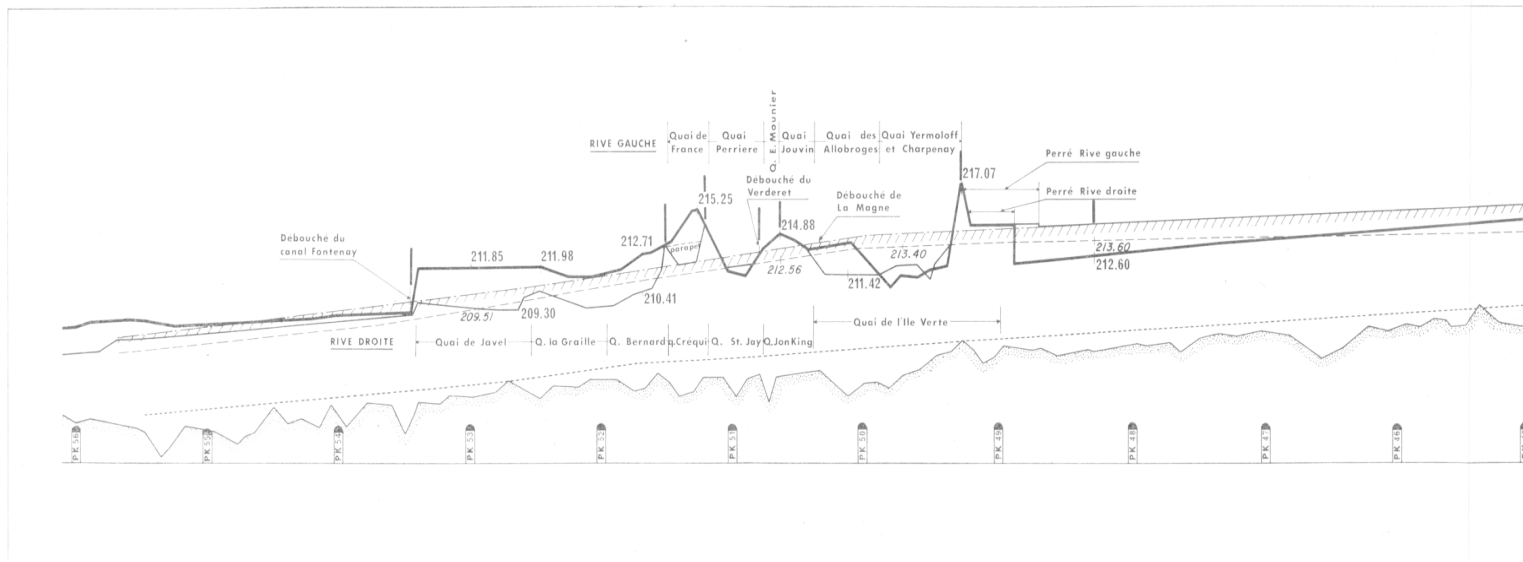
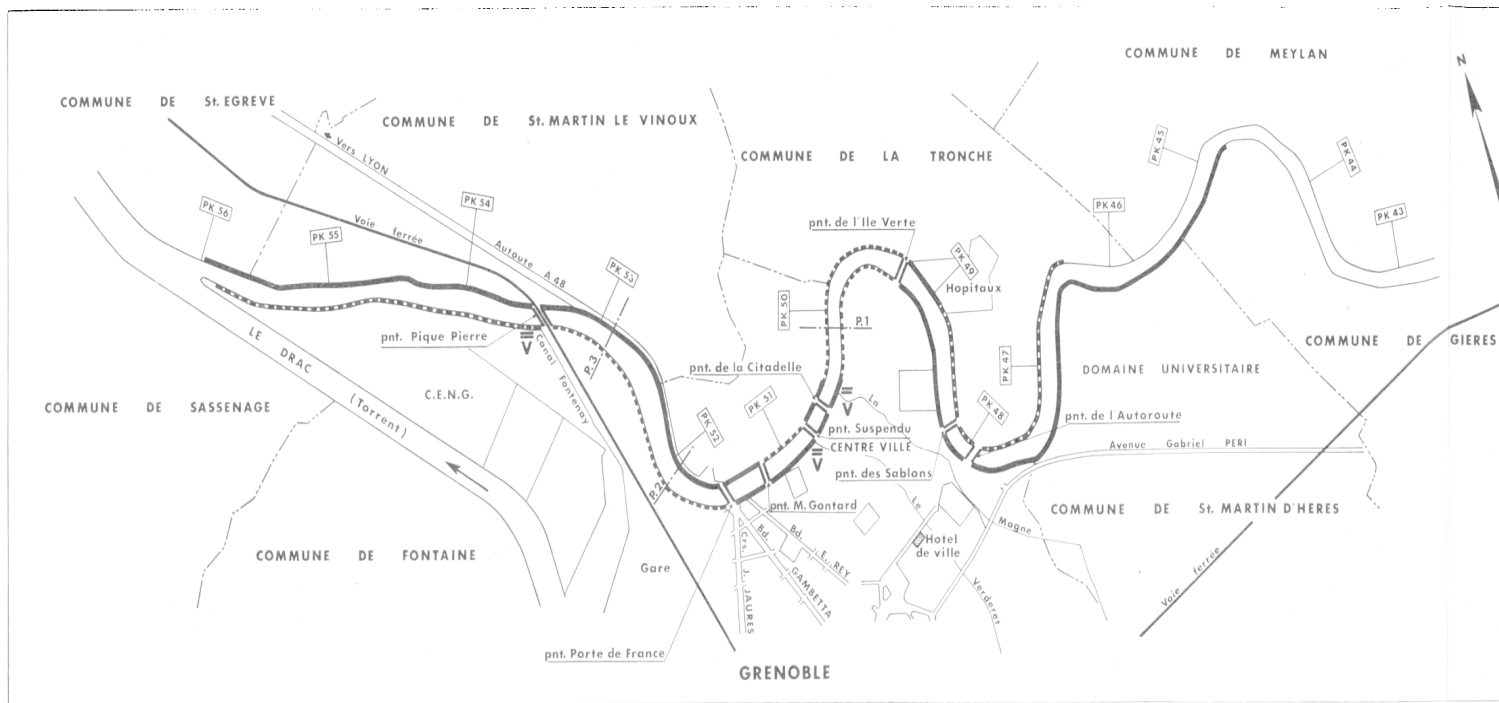


Fig. 4.

Entre ces tronçons, la différence entre la cote d'arasement réelle et la ligne d'eau de la crue de 1859 peut atteindre de 1,60 m à 3 m... Sur la rive droite, entre le pont des Hôpitaux et le quai St-Laurent, entre le débouché du Verderet et le pont M.-Gontard, une crue de 800 m³/s submerge indubitablement les quartiers riverains, sans grande extension heureusement. Par contre sur la rive gauche, entre le pont Porte de France et celui de Pique-Pierre, l'inondation certaine pour une crue supérieure à 1 000 m³/s aurait des conséquences plus graves pour les constructions du confluent (quartiers des Abattoirs, Merlin-Gerin, Centre Nucléaire). Il en est de même sur cette rive pour les quartiers bordant l'Isère entre les ponts des Hôpitaux et de la Citadelle.

Les travaux s'effectuent par tranches successives et des projets de terrassements à sec, de rehaussement de digues sont prévus pour 1968-69 sur la rive droite au niveau du pont des Sablons, pont de l'autoroute. En aval de la ville, de la voie ferrée au confluent, cette même année 1968 a vu accepter le projet de digue rive gauche (pour une crue de 2 000 m³/s), au niveau du Centre Nucléaire. Les travaux récents de l'autoroute Grenoble - Lyon sur la rive droite ont entraîné la protection effective des communes de St-Martin-le-Vinoux, St-Egrève.

Jusqu'à nos jours la ville de Grenoble a pu bénéficier de l'accalmie constatée dans le cycle des crues, mais ce calme peut prendre fin brutalement (encore ne pensons-nous qu'à une crue de fréquence 1/50 ou 1/100, soit de 1 400 à 1 800 m³/s). Une crue millénaire qui dépasserait même de peu 2 000 m³/s submergerait le confluent, une grande partie de l'agglomération et la plaine de Gières sous 1,50 m à 3 m d'eau. A l'amont de Grenoble, dans la boucle de Taillat dont la coupure est à l'étude, la ligne d'eau correspondant à une crue de 1 100 m³/s est déjà à 2,50 m en moyenne au-dessus du niveau de la plaine.

Le danger d'inondation à Grenoble est donc persistant et les diverses solutions proposées ne satisfont pas pleinement.

5) *Pour une protection effective de la Ville*, deux possibilités s'offrent aux ingénieurs des Services intéressés⁵, deux possibilités nuancées à l'infini selon les caprices de la nature que nous ne pouvons pas tous prévoir :

⁵ Nous remercions pour leur aide compétente : M. Billi-Riz, Ingénieur des Ponts et Chaussées; M. Rivassou, Ingénieur des Travaux publics; M. Nicoud, Technicien des Travaux publics; M. Nicolle, Technicien des Travaux publics, que nous avons pu rencontrer dans leurs bureaux du Service d'Aménagement de l'Isère.

- un endiguement parfait par de solides digues insubmersibles en maçonnerie sur les deux rives de l'Isère, du Pont Royal à Grenoble, continuant l'endiguement de Savoie dont les effets points à la pente naturelle du cours d'eau font en sorte que les crues passent rapidement pour s'étendre dans le Grésivaudan;
- prévoir dans la zone inondable un secteur « sacrifié » susceptible de retenir le flot de crue.

Ces deux solutions présentent des avantages, mais aussi des inconvénients qui ne doivent pas être méconnus.

● *L'endiguement complet* implique la construction de digues très hautes au-dessus du terrain naturel inondable. Si nous comparons la hauteur des digues actuelles prévues pour contenir un flot de 1 100 m³/s avec l'altitude du lieu, il est facile de constater un écart de 1 à 2 m (au minimum) entre les deux. Il faudrait, pour contenir un flot de 2 000 m³/s, prévoir une digue de 2,50 m plus haute que celle existante. Il nous faut donc imaginer l'Isère ceinturée par des digues de 3,50 à 4 m (il eut été plus facile et prudent de freiner la construction dans la zone inondable ou de l'adapter pour une éventuelle inondation). Dans l'éventualité d'une brèche toujours possible, surtout si le coût d'une digue en béton fait encore préférer le gravier, c'est un flot énorme qui se déversera sur la plaine sans pouvoir peu à peu réintégrer le lit mineur de l'Isère.

La pente de la plaine du Grésivaudan, de Pontcharra à Grenoble⁶, entraînant une descente de la nappe d'eau vers l'aval, nous sommes obligés de reconnaître qu'en cas de brèche, par exemple au niveau des boucles de Gières - Saint-Martin-d'Hères (Taillat) rive droite, c'est une accumulation d'eau pouvant atteindre le 1^{er} étage des immeubles qui se ferait dans le quartier de La Tronche en arrière de la barrière infranchissable que constitue le tronçon de digue déjà réalisé. Cet endiguement devrait donc soit être construit de façon parfaitement solide pour éliminer les éventualités de rupture, soit être prévu avec des sections moins solides faciles à détruire afin de permettre le retour du flot d'inondation dans son lit, ce qui est facilement exécutable.

Si la solution d'un tel endiguement, adoptée d'ailleurs par le projet Schneider, ne semble pas présenter d'objection majeure pour

⁶ 0,9 mm/m en moyenne.

sa réalisation dans la plaine iséroise, elle paraît plus difficilement concrétisable dans la traversée de Grenoble.

Actuellement *le problème de la traversée de la ville reste insoluble* dans l'immédiat et sans entrevoir d'énormes travaux d'urbanisme (tunnel de dérivation pour l'Isère sous la colline du Rabot ? quais en encorbellement ?). Nous avons déjà signalé le danger présenté par les ponts; il s'y ajoute celui qu'entraîne le rétrécissement du lit entre quais. En admettant un endiguement parfait en amont de la ville, un flot de 1 200 à 2 000 m³/s ne traversera pas la ville entre quais, même surélevés, sans dommage, les remous provoqués par les piliers de trop nombreux ponts, leurs tabliers trop peu élevés constituant autant de causes de relèvement du plan d'eau imprévisible dans son processus mais indubitable. Il faudrait donc prévoir outre l'exhaussement des quais à une hauteur suffisante, la suppression des ponts dans leur conception actuelle, entre pont de l'Île-Verte et Porte de France... De plus il est connu, et certains immeubles ont pu l'expérimenter aux dépens de la stabilité de leurs fondations, que la nappe phréatique est très proche de la surface (dans la plaine grenobloise, surtout des rives de l'Isère à celles du Drac).

A tout endiguement qui donnera à la ligne d'eau une hauteur inusitée au-dessus du terrain naturel correspondra un relèvement non moins grave de la nappe, d'où la nécessité de prévoir des systèmes de pompage suffisants pour la maintenir à un niveau constant. En fait ce danger d'inondation par la nappe apparaît comme mineur, car il ne menacerait que les sous-sols dans le cas le plus grave ! De plus, on peut constater un retard important de plusieurs heures des variations de la nappe par rapport aux mouvements du cours d'eau. Il est peu probable qu'un flot de crue passant à Grenoble entraîne une montée instantanée de la nappe susceptible de graves dommages. Le problème le plus pressant qui se pose à l'endiguement Schneider est donc la construction à l'intérieur de la ville de quais démesurés...

On peut penser qu'un meilleur calibrage du lit améliorerait le passage des flots de crues. Il est prouvé que la section la plus appropriée au charriage (d'après la SOGREAH) est de 90 à 100 m de large. Bien que nous puissions constater certains rétrécissements du lit au niveau du Domaine Universitaire, à l'entrée de la vieille ville au niveau des fortifications, du pont Marius-Gontard (70 à 80 m), le calibrage de l'Isère paraît satisfaisant pour un écoulement moyen. Donner une plus grande largeur à ce lit (tout au moins dans la plaine) afin de rendre possible un étalement des flots exceptionnels serait une erreur qui entraînerait un déséquilibre du profil

et un relèvement du fond par arrêt de charriage continu. Toutefois, un tel élargissement (200 m environ) n'est peut-être pas impensable si les travaux sont effectués selon un schéma donnant un lit mineur de 90 à 100 m de large effectivement, prolongé sur les deux rives par deux bandes inondables de 50 m de large, maintenues bien dégagées de toute végétation et constituant déjà une possibilité d'aplatissement des flots de crue. Cette solution a été adoptée dans la plaine du Pô et dans le Valais en aval de Sion.

Avec les problèmes de l'élargissement du lit, nous abordons la deuxième possibilité de protection qui consisterait à prévoir une zone inondable à l'amont de la ville capable d'absorber les crues dommageables de 1 100 à 2 000 m³/s.

● *La zone inondable* existante dans le Haut-Grésivaudan a été évaluée par les Ponts et Chaussées à 10 000 ha. Par un calcul rapide on peut évaluer à 160 ha la surface de terres inondées en 1 heure sous 1 m d'eau, surface qui serait nécessaire pour absorber une crue de 2 000 m³/s pendant ce même laps de temps. En une journée, pour étaler un flot de pointe de puissance identique, il faudrait pouvoir disposer d'un bassin de rétention de presque 4 000 ha (sur 2 m d'épaisseur en moyenne). La possibilité de constituer un tel bassin de rétention n'est donc pas impensable mais non sans dommage pour les centres d'exploitation agricole ou des villas qui se sont construites un peu inconsidérément dans la zone inondable. De plus, une solution au problème de la descente de la nappe vers l'aval est également à mettre au point. Il faudrait que tous les ouvrages transversaux existants (chemins, chantournes, etc.) soient capables de constituer comme autant de barrages et canaux de drainage ou envisager la construction de cloisonnements de hauteur sensiblement identique à celle de la digue longitudinale. Enfin, en admettant que le blocage de la nappe d'inondation à l'intérieur d'un périmètre « sacrifié » soit réalisable, comme dans le cas d'un endiguement longitudinal puissant et continu, le problème du retour des eaux ainsi prisonnières, dans le lit mineur, reste encore ici à résoudre. En outre, et c'est là notre principale objection à ce projet, selon la durée de l'intumescence de crue, la surface de la zone inondable varie et il est difficile pour ne pas dire impossible de prévoir ces sortes de casiers d'inondation pour les types de crue de longueur variée...

Ainsi en prenant des exemples de crues récentes pour lesquelles nous avons des limnigrammes, nous pouvons constater que certaines ne durent que de 3 à 4 jours avec un gonflement maximum au-dessus de 3 m (Grenoble) pendant un nombre d'heures variable :

	Durée de la crue	H : 3 m
Juin 1948	3 jours	Le 20-6, de 4 h à 24 h.
Février 1955	3 jours	Du 9 au 10, de 8 h à 7 h.
Septembre 1940	4 jours	Le 16-9, de 10 h à 17 h.
Octobre 1928	4 jours 1/2	Le 22-10, de 7 h à 16 h.

D'autres s'étendent sur des périodes de 5, 8 et même 9 jours, avec parfois un gonflement maximum très bref :

Juin 1957	5 jours	Le 15, de 0 h à 13 h.
Janvier 1955	7 à 8 jours	Du 14 à 14 h au 16 à 2 h.
Novembre 1944	6 à 7 jours	Du 24 à 8 h au 27 à 1 h.
Juin 1929	9 jours	Le 8-6, de 4 à 8 h.

Cette dernière crue est un exemple frappant d'une montée lente et régulière des eaux abondamment alimentées par une large averse et une fonte neigeuse, mais dont les débits de pointe ne sont atteints que pendant 2 ou 3 heures. Par contre la violence caractérise la crue de février 1955 qui, en 3 jours, culmina à plus de 3 m pendant 23 h. A la fois puissante et longue apparaît enfin celle de janvier 1955 qui dépassa 3 m pendant 36 h sur les 7 jours de crue.

S'il paraît possible de faire s'écouler un flot abondant au total mais régulièrement réparti sur plusieurs jours sans brusque gonflement et de lui prévoir un processus d'endiguement ou de rétention dans une zone inondable, il semble impossible de prévoir avec exactitude les conséquences de sautes brusques de débit tant pour une crue courte et violente que pour une autre longue et tout aussi puissante. Pas plus que les autres cours d'eau du monde, l'Isère n'a de processus de gonflement invariable.

Nous ne connaissons pas la durée de l'intumescence à son maximum pour la crue célèbre de novembre 1859. Le tracé de la zone inondable tel qu'il est donné par les Ponts et Chaussées correspondrait à celui de la surface réellement inondée pendant cette crue, soit 10 000 ha. Nous avons établi plus haut qu'une nappe de 2 m d'épaisseur et de 4 000 ha de surface serait nécessaire pour étaler dans la basse plaine à l'amont de Grenoble un débit de 2 000 m³/s pendant 24 h; il est permis de supposer que le débit maximum ou plutôt les débits de l'intumescence de pointe ont donc pu durer un minimum de 48 h au-dessus de 3 m-3,50 m. Par rapport à nos petites crues du xx^e siècle, cette puissance jointe à cette durée temporelle apparaît énorme, mais en fait elle n'est pas impossible. En l'occurrence, pour une crue identique, c'est effecti-

vement toute la plaine du Grésivaudan et une partie de la banlieue Est qui sont nécessaires pour étaler la crue et éviter l'inondation complète de Grenoble ! Sans rappeler les difficultés inhérentes à la descente de cette nappe d'inondation vers l'aval, une telle évocation ne manque pas de laisser rêveur.

Il nous semblerait intéressant pour établir des hypothèses d'inondation dans de multiples cas sur des bases plus sûres, puisque la nature ne nous offre pas assez d'exemples récents, *de procéder à des crues expérimentales sur modèle réduit* de la ville et de la plaine (Pontcharra - confluent avec Drac). Seul ce procédé d'étude permettrait de fixer concrètement certaines conséquences que l'imagination permet d'évoquer de façon par trop évasive. Alors peut-être serait-il possible de trouver la solution qui permettrait à un débit supérieur de 1 100 m³/s de traverser la ville entre digues, sans trop submerger la plaine amont, et d'étudier les possibilités d'évacuation d'une éventuelle zone réservée à l'écêtement des crues.

Dans l'état actuel des travaux, une crue de 2 000 m³/s⁷ n'arriverait pas aux portes de la ville sans large débordement sur les communes du Grésivaudan. Etant donné aussi la densité des constructions jusqu'aux collines d'Eybens, il est peu probable qu'un flot aussi important qu'en 1859 traverse l'agglomération et balaie partiellement la zone du confluent (C. E. N. G.) comme ce fut le cas alors. Le flot serait contenu et remonté dans la partie amont et, par contre, les nouvelles constructions de Meylan, La Tronche, Saint-Martin-d'Hères, le nouveau Domaine Universitaire seraient entièrement inondés (certains bâtiments sont d'ailleurs construits sur pilotis pour pallier ce danger). Il conviendrait de savoir évidemment quelle partie du Grand Grenoble et de ses abords il vaut mieux sacrifier... (indépendamment du danger possible et des coûteux dommages que causerait la submersion du Centre Nucléaire).

Compte tenu du projet de rehaussement des digues prévu pour 1968 du pont de Pique-Pierre au confluent, de la pose de vannes au débouché du canal Fontenay prévue parallèlement à ces précédents travaux, *il apparaît qu'un débordement peut être évité dans la zone du confluent*. La persistance de la nappe phréatique qui, à cet endroit, se trouve entre 70 et 80 cm sous la surface du sol pour un débit de l'Isère à Veurey compris entre 800 et 900 m³/s

⁷ Débit susceptible d'être atteint à Grenoble mais aussi en amont.

(2 000 m³/s à Grenoble peut correspondre à quelque 3 000 m³/s à Veurey selon les variations du Drac) oblige naturellement à prévoir une inondation grave par remontées et infiltrations. Il apparaîtrait donc prudent pour le C. E. N. G. de renforcer le système de drainage par pompage.

Le problème restera entier (inondation par débordement et par refoulement) pour l'agglomération. Seul l'exhaussement des digues et quais actuels peut assurer la protection de la ville et de ses abords dans l'éventualité d'une crue comprise entre 1 100 et 1 800 m³/s de fréquence approximative 1/50 et 1/100 (puisque nous avons vu les objections rencontrées par l'établissement d'une protection dans le cas d'une crue supérieure). Ce n'est d'ailleurs que dans la mesure où l'exhaussement des digues est général que la protection du C. E. N. G. est assurée, car il est certain que l'endiguement prévu par priorité Pique-Pierre - confluent est inefficace face à la brèche existant actuellement au niveau des Abattoirs !

Pour une crue supérieure à 1 800 m³/s à Grenoble, crue de fréquence 1/500 ou 1/1 000, il apparaît difficile de constituer une protection parfaite. D'après le Professeur Pardé, fort vraisemblablement, entre Pique-Pierre et le confluent, un débit de pointe compris entre 2 000 et 2 500 m³/s entraînerait l'étalement d'une nappe d'eau haute de 2 m au moins à plus de 100 m de l'Isère, de 1,70 m à 300 m du lit, et dans le cas d'une rupture de levées, une inondation supérieure à 3 m. Une étude sur modèle réduit étayerait de telles suppositions calamiteuses auxquelles on pense trop peu.

Si certaines colères de la nature par leur violence sont difficiles à contrer, leur rareté peut à la rigueur excuser la négligence humaine. *Préserver une grande ville prospère contre un phénomène d'inondation cinquantenaire ou centenaire devrait figurer parmi les principales préoccupations de l'urbanisme* qui a parfois un peu imprudemment multiplié les constructions le long d'un cours d'eau insuffisamment assagi, soit par des barrages, soit par endiguement.



ADDITIF :

Le 23 septembre 1968. Alors que cet article n'était pas encore sous presse, nous avons pu assister lors de la nuit et de la journée du 21 au 22 septembre à une crue de l'Isère de périodicité 1/10 approximativement mais dont le volume était inconnu à Grenoble

depuis le début du siècle. Nous nous permettons, de ce fait, d'en signaler quelques caractéristiques; les dégâts, bien que minimes, qu'elle vient d'occasionner étayent d'autre part notre conclusion sur la nécessité de revoir et parfaire la protection de la ville.

Plus forte que la crue de janvier et février 1955 (3,28 m - 3,32 m), de novembre 1944 (3,45 m), de septembre-octobre 1928 (3,50 m) pour ne citer que les plus grandes de notre siècle, la crue du 22 septembre 1968 prend le second rang après celle de mai 1878 (3,80 m) parmi les calamités hydrologiques que Grenoble connut depuis novembre 1859.

L'Isère qui, le samedi 21 septembre à midi, accusait à l'échelle du pont M.-Gontard 0,42 m, le dimanche 22 septembre a roulé de 980 à 1 000 m³/s (soit 3,56 m). Le lundi 23 septembre la décrue s'est amorcée avec encore 2,16 m à 6 heures.

A l'amont de la ville l'Isère a coulé entre berges et digues sans débordement, prouvant par là l'efficacité des travaux d'endiguement déjà réalisés de Gières à Pontcharra (rive gauche). Signalons seulement que d'après les premières constatations effectuées par le Service des Ponts et Chaussées, le travail de corrosion a été très fort et que les ouvrages de graviers en ont souffert. Le bilan de cette crue toute moyenne se solde par des travaux de réfection et montre le caractère indispensable d'enrochements au pied des berges et digues.

En aval de Grenoble, le Drac, par une heureuse conjonction de facteurs, n'ayant pas accusé de montée d'eaux spectaculaire, il n'y eut pas de débordement si ce n'est dans la plaine de la basse Isère au niveau de St-Quentin - La Rivière, St-Lattier et Romans.

Conformément à ce que nous avons précisé sur la protection inégale des différents quartiers de la ville, l'endiguement montra ses points faibles. Le 22 septembre entre 12 et 17 h, quartier des Abattoirs, l'eau affleurait pratiquement la base des parapets avec seulement 30 cm de revanche par rapport à la chaussée. Des refoulements de conduites inondèrent certains terrains du C. E. N. G.; de même quelques points bas du Domaine Universitaire furent inondés non par débordement mais par infiltrations. Il faut donner une cause identique aux inondations des caves et sous-sols des immeubles de la place Grenette, du quartier des Abattoirs, de la place de la Bastille, de la Petite-Tronche; par contre, les quais Yermoloff et Charpenay, ainsi que nous l'avons porté sur le plan, ont été immergés. Il y eut également des débordements et immersion dans le quartier du Grand-Sablon, à la limite du perré récemment terminé.

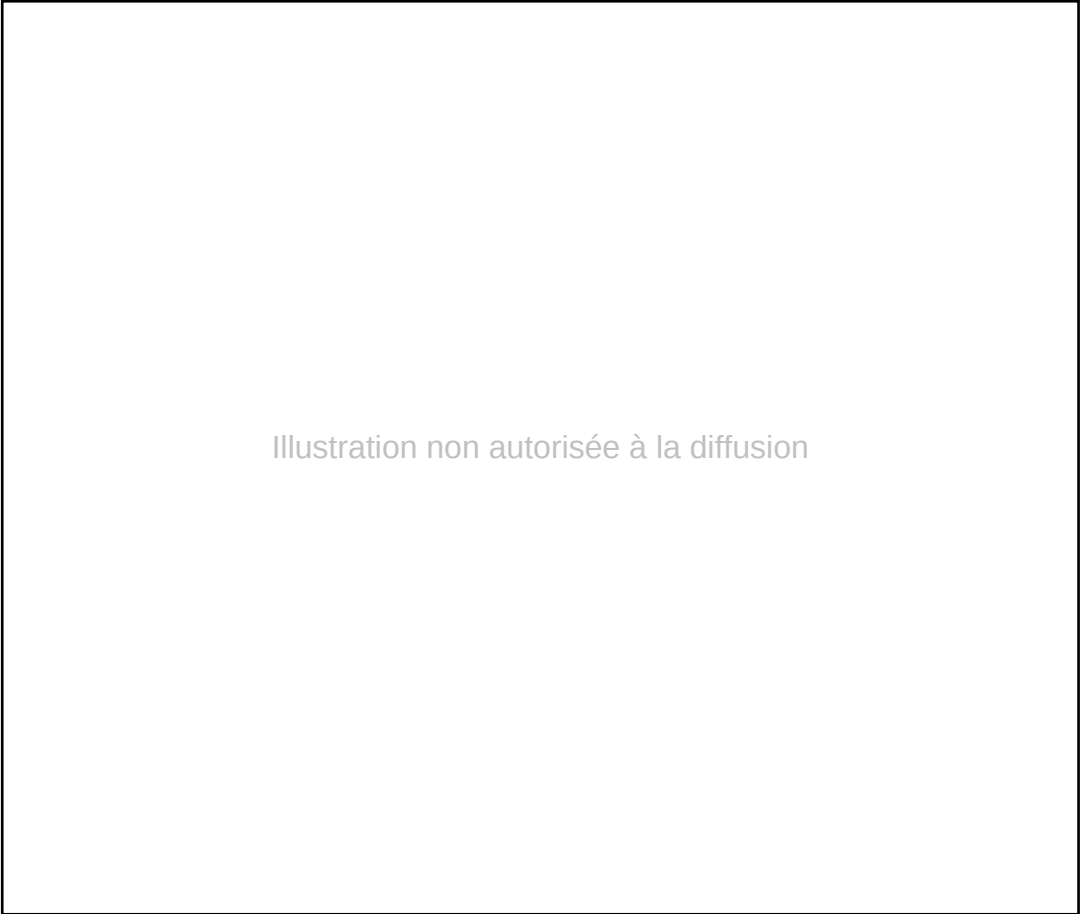


Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. II A. Quai de la Graille; vue de l'Isère en fin d'après-midi le 22 septembre 1968. Lors du maximum de crue vers 15 h, l'eau affleurait le bas des parapets (à droite sur la photo).

(Cliché D. L.)

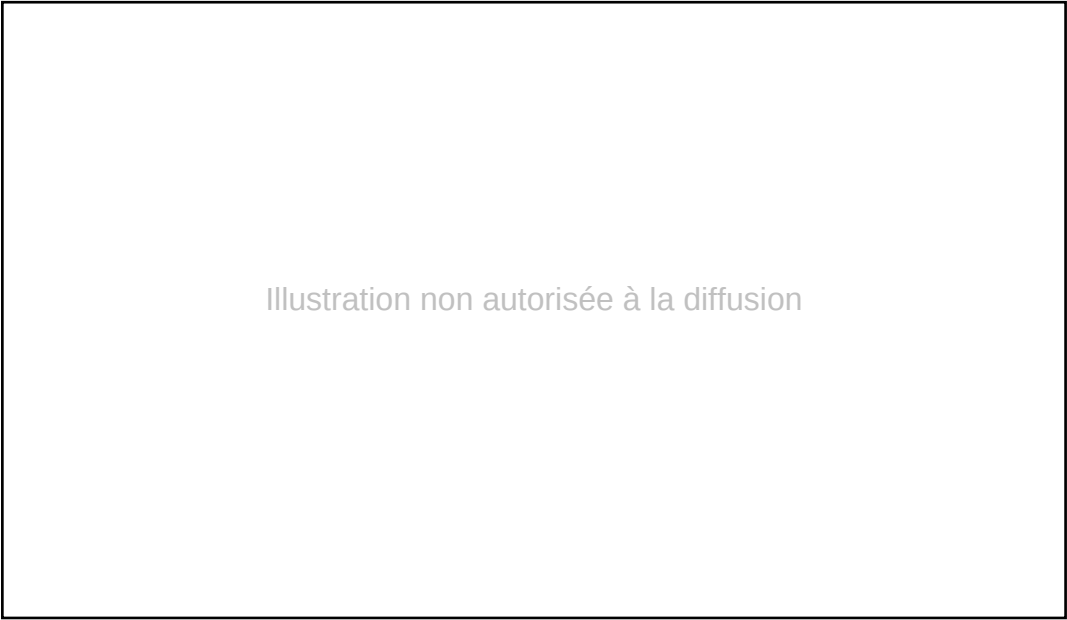


Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. II B. Le pont Marius-Gontard le 22 septembre 1968 à 14 h 15, soit 1 h 4 d'heure avant le passage du maximum; la cote à l'échelle était de 3,50 m.

(Cliché Ponts et Chaussées.)

Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. II C. — Le quai Charpenay le 22 sept. 1968. La chaussée fut recouverte par une nappe d'eau de 30 à 70 cm de hauteur. Plus en amont, toujours sur la rive droite, avant que ne commence le perré du pont des hôpitaux, l'Isère déborda et recouvrit la route sous 20 à 25 cm d'eau et de boue.

(Cliché D. L.)

Nous ne sommes pas encore à même de déterminer avec précision quelles furent les causes de cette crue. Sans aucun doute fut-elle engendrée par les fortes pluies concentrées dans la journée du 21 et la nuit du 22 et étendues sur la Savoie et la Haute-Savoie (une température clémente permettant à cette pluie de s'étendre haut en altitude). La relative brièveté de l'averse, pour laquelle nous ne disposons pas encore de données sûres, ne donna fort heureusement qu'une ampleur limitée à la montée des eaux qui surprit tant les riverains que les services d'aménagement.

Grenoble vient donc de connaître une alerte qui a eu l'avantage de faire revoir et prévoir ce que fut ou pourrait être une grande crue.

ANNEXE

TABLEAU I

*Quelques exemples d'altitudes comparées
du terrain naturel et de la ligne d'eau d'une crue
de 2 000 m³/s (supposée entre digues)*

ALTITUDE DU TERRAIN (d'après la carte au 1/20 000 ^e)	
<i>Amont de Grenoble :</i>	
Altitude minimum du terrain du niveau :	
Du Domaine Universitaire	211 m
Ile-Verte	212 m
Boucle du Taillat	214 m
<i>Dans la Ville :</i>	
Place Grenette	211 m
<i>Aval de Grenoble :</i>	
Canal Fontenay, Merlin-Gerin	208 m
C.E.N.G.	210 m
ALTITUDE DE LA LIGNE D'EAU (crue de 2 000 m ³ /s)	
Niveau du Sonnant	215,48 m
Pont des Sablons	215,40 m
Ile-Verte	214,07 m
Pont M.-Gontard	212,75 m
Pique-Pierre	210,40 m
Canal-Fontenay	210,20 m
Merlin-Gerin	209,15 m

TABLEAU II

Statistiques des crues à Grenoble

(Service d'Annonce des crues. Aménagement de l'Isère)

(Les débits peuvent être déduits des courbes de tarage établies successivement par la S.H.F. ⁸ et la SOGREAH ⁹.

	H m	Q m ³ /s
11 au 13 novembre 1651	6,50 m	2 500
11 février 1711	4,65 m	1 460
14 septembre 1733	5,57 m	1 900
20-23 décembre 1740	5,75 m	2 000
16 juin 1764	4,65 m	1 460
27 octobre 1778	5,40 m	1 800
31 mai 1816	3,70 m	1 010
26 novembre 1840	3,40 m	910
31 mai 1856	3,75 m	1 020
2 novembre 1859	5,23 m	1 800
31 mai 1877	2,50 m	610
7 juin 1877	3,10 m	810
25-26 mai 1878	3,80 m	1 059
31 mai 1879	2,30 m	575
30 juin 1879	2,80 m	710
24 octobre 1880	2,65 m	660
28 août 1881	2,42 m	580
27 novembre 1882	3,30 m	880
5 et 6 juin 1883	2,58 m	638
22 octobre 1883	1,95 m	449
30 novembre 1885	2,65 m	660
8 novembre 1886	2,28 m	540
3 juin 1887	2,65 m	660
16 décembre 1887	2,63 m	650
1 ^{er} août 1888	3,15 m	830
14 et 15 juin 1889	2,40 m	580
28 et 29 octobre 1889	2,30 m	560
29 juin 1890	2,70 m	670
21 et 22 octobre 1891	1,60 m	340
4 juin 1892	2,45 m	590
5 et 6 octobre 1893	2,10 m	475
26 octobre 1894	1,60 m	340
13 novembre 1895	2,95 m	760
26 septembre 1896	2,62 m	630
23 août 1897	2,85 m	725
24 au 26 juin 1898	2,55 m	625

⁸ Société Hydrotechnique de France, Courbe en 1942.⁹ SOGREAH, Courbes de 1947 à 1958, nouvelle campagne en 1958-1961, campagne de mesures actuelles après la coupure de la boucle de Bois-Français.

	H m	Q m ³ /s
13 au 15 janvier 1899	3,12 m	815
6 avril 1901	2,70 m	675
15 au 16 juin 1901	2,45 m	595
15 juin 1902	2,80 m	710
10 et 11 juillet 1902	2,90 m	740
23 et 24 mai 1904	2,50 m	608
29 août 1905	2,15 m	495
1 ^{er} et 2 juin 1906	2,75 m	690
13 et 14 juin 1907	2,48 m	605
9 décembre 1907	2,45 m	595
13 mai 1908	2,48 m	598
6 octobre 1909	2,00 m	445
26 et 27 juin 1910	3,15 m	830
10 et 11 juin 1911	2,25 m	520
20 juin 1911	2,25 m	520
14-16 mai 1912	2,55 m	625
2 et 3 juin 1913	2,30 m	560
23 et 24 juillet 1914	3,10 m	810
18 et 19 mai 1915	2,60 m	640
28 et 29 juillet 1915	2,70 m	675
10 juin 1916	2,50 m	608
24-26 juin 1916	2,30 m	560
26 décembre 1916	2,80 m	710
14 et 15 mai 1917	2,50 m	608
28 et 29 mai 1917	2,60 m	640
24 décembre 1918	3,30 m	880
12-14 juin 1919	3,00 m	775
24 septembre 1920	3,10 m	810
25-27 mai 1922	3,20 m	840
11 juin 1922	3,10 m	810
8-10 mai 1923	2,00 m	445
28-29 novembre 1923	1,00 m	215
29 décembre 1923	2,00 m	445
30 avril-1 ^{er} mai 1924	3,10 m	810
2 et 3 juin 1924	2,40 m	580
24 et 25 septembre 1925	1,60 m	340
1 ^{er} juin 1926	2,80 m	710
8 juillet 1926	2,40 m	580
26 juillet 1926	2,00 m	445
2 juin 1927	2,40 m	580
23-26 septembre 1927	2,40 m	»
27 septembre-1 ^{er} octobre 1928	2,40 m	»
21-24 octobre 1928	3,08 m ¹⁰	805
26-28 novembre 1928	2,20 m	510
6-15 juin 1929	3,01 m	780
17 mai		

¹⁰ D'après le Professeur Pardé, le maximum réel non mesuré aurait été de 3,50 m.

	H m	Q m ³ /s
20 juin 1937	3,21 m	844
15-17 septembre 1940	3,17 m	835
23-28 novembre 1944	3,45 m	920
30 août-3 septembre 1946	2,02 m	450
19-21 juin 1948	3,18 m	838
4 et 5 septembre 1948	2,23 m	515
22 et 23 mai 1950	2,37 m	570
17 et 18 novembre 1950	2,92 m	746
17-19 mars 1951	2,65 m	660
26-29 mai 1951	2,51 m	612
9 et 10 juin 1951	2,36 m	564
13-21 juin 1951	2,78 m	705
15-17 juillet 1951	2,80 m	710
26 et 27 novembre 1952	2,70 m	674
21-23 août 1954	—	—
11-17 janvier 1955	3,28 m	872
8-10 février 1955	3,32 m	884
7 et 8 juin 1955	3,27 m	868
25 février 1957	2,73 m	685
14 et 15 juin 1957	3,18 m	830
27 juin 1958	2,82 m	715
17 septembre 1960	1,68 m	546
1 ^{er} octobre 1960	2,94 m	754
6 octobre 1960	1,88 m	416
12 décembre 1961	3,14 m	826
28 juin 1963	2,60 m	640