

Conclusions de la réunion du 16 janvier 1959

Conclusions of the January 16th 1959 meeting

PAR Ph. DEYMIÉ

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION POUR L'ÉTUDE DES DÉBITS DE CRUES

A. — FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

Les violentes précipitations qui ont provoqué les crues des rivières cévenoles le 30 septembre et le 4 octobre 1958 ont été précédées chaque fois par des conditions météorologiques que l'on peut résumer de la façon suivante :

— Une masse d'air méditerranéen, très humide, entraînée par un violent vent du sud, entrant en conflit, sur la partie moyenne des bassins cévenols, avec l'air polaire maritime d'origine atlantique progressant vers la vallée du Rhône après le franchissement des crêtes (1);

— D'une façon plus précise, à Nîmes-Courbesac, les 29 septembre et 30 septembre, les vents soufflaient au sol et jusque vers 3 000 m d'altitude, du sud-ouest et de l'ouest. Le 30 septembre, à 0 heure, la vitesse du vent du sud atteignait 24 m à la seconde à 1 000 m d'altitude.

Des conditions météorologiques semblables se sont reproduites les 3 et 4 octobre.

B. — ÉPOQUE DES CRUES CÉVENOLES

Les crues à la fois les plus importantes et les plus nombreuses se produisent dans la période de septembre inclus à janvier inclus.

C'est ainsi que :

— Pour la Cèze, sur 34 crues ayant atteint ou dépassé 7 m depuis 1892, 30 crues se sont produites entre septembre et janvier;

— Pour les Gardons, sur 18 crues ayant atteint ou dépassé 5 m depuis 1897, 15 crues se sont produites dans la même période;

— Pour le Vidourle, sur 33 crues ayant atteint ou dépassé 4 m depuis 1900, 28 crues se sont produites dans la même période.

D'autre part, les crues se reproduisent assez

souvent à quelques jours d'intervalle; on peut citer :

Sur la Cèze, crues des :

29 septembre et 3 octobre 1900,
9 octobre et 16 octobre 1907,
27 septembre et 9 octobre 1933,
30 septembre et 4 octobre 1958;

Sur les Gardons, crues des :

27 septembre, 9 octobre et 16 octobre 1907,
27 septembre et 9 octobre 1933,
6 janvier et 31 janvier 1955,
30 septembre et 4 octobre 1958;

Sur le Vidourle, crues des :

27 septembre et 16 octobre 1907.

Cette répétition est évidemment liée à la reproduction à quelques jours d'intervalle de conditions météorologiques semblables.

(1) Une première averse a été constatée sur l'Aigoual dès le 28 septembre à 22 heures.

C. — CARACTÉRISTIQUES DES PRÉCIPITATIONS GÉNÉRATRICES DE CRUES

La hauteur de pluie tombée pendant les journées des 29 et 30 septembre a atteint son maximum à Saint-Etienne-Vallée-Française avec 429 mm. Autour de ce maximum, la précipitation a dépassé 300 mm sur une zone longue de 100 km et large de 30 km qui couvre les contreforts sud-est de la chaîne des Cévennes.

Les courbes isohyètes ont une forme ovale dont le grand axe est sensiblement parallèle à la ligne de crêtes et à une quinzaine de kilomètres de celle-ci.

Les 3 et 4 octobre, les courbes isohyètes avaient la même orientation générale, mais étaient décalées vers le sud-ouest. La hauteur de pluie maximum a été constatée aux environs de Quissac avec 230 mm.

La pluie est tombée d'une façon quasi continue, d'une part, pendant les journées des 29 et 30 septembre, d'autre part, pendant la nuit du 3 au 4 octobre et une partie de la journée du 4 octobre, mais avec des intervalles très variables.

Il s'agit donc de longues averses comportant en général une première période assez longue et relativement modérée qui a pour effet de saturer le sol, puis une période où l'intensité atteint un maximum élevé souvent pendant plusieurs heures.

On a ainsi noté :

— A la Grand-Combe, le 30 septembre :

de 0 h à 7 h.....	30 mm
de 7 h à 12 h.....	40 mm
de 12 h à 17 h.....	192 mm
de 17 h à 24 h.....	24 mm
Total.....	286 mm

— A Alès, le 30 septembre :

de 13 h à 15 h 30....	140 mm
de 15 h 30 à 18 h.....	83 mm
de 18 h à 24 h.....	31 mm
Total.....	254 mm

A Alès, l'intensité maximum relevée paraît avoir été de :

140 mm en 120 minutes, soit 1,18 mm par minute.

D'après M. Jacquet, l'intensité maximum a été relevée :

— le 30 septembre, par le pluviographe de Larouvière-de-Cros avec 230 mm en 4 heures et 72 mm en 1 heure entre 16 h et 17 h;

— le 4 octobre par le pluviographe de Canaules avec 98 mm en 1 heure entre 10 h et 11 h.

C'est cette période d'intensité maximum qui caractérise l'averse, et qui fournit le débit maximum de la crue.

Le relevé de ces intensités maxima entraîne l'obligation de disposer d'un nombre suffisant de pluviographes.

M. Jacquet oppose ces précipitations d'origine cyclonique aux averses orageuses localisées, de forte intensité et de durée assez brève, qui ne présentent pas de danger en raison de leur étendue limitée dans l'espace et dans le temps.

Les averses des 30 septembre et 4 octobre se sont déplacées de l'amont vers l'aval, et cette circonstance, jointe à la forme en éventail des hauts bassins cévenols, tend à renforcer considérablement l'onde de crue pendant sa propagation.

D. — BOISEMENTS

M. Schenk a émis des réserves sur l'efficacité des boisements contre les crues; les arbres, et en particulier les conifères, retiennent moins la terre que la brousse. M. Schenk préconise les hêtres, qui retiennent mieux l'eau sur leurs feuilles, au moins jusqu'à un certain degré de saturation.

M. Quesnel a relaté des expériences sur modèle réduit mettant en évidence l'influence favorable d'arbustes, telles que l'acacia, sur le haut des berges d'un lit mineur. Ces taillis non seulement consolident les berges, mais réduisent également la vitesse dans le lit majeur et limitent de ce fait l'érosion des terres.

E. — BARRAGES-RÉSERVOIRS

Le barrage-réservoir établi dans les hautes vallées paraît être la meilleure solution pour l'atténuation des crues cévenoles.

Ces barrages à pertuis ouverts ne comporteraient aucune sujétion d'exploitation.

Ils auraient pour objet d'atténuer seulement l'onde de crue dans sa partie supérieure domageable et, dans ces conditions, le volume à emmagasiner serait de l'ordre de quelques dizaines de millions de mètres cubes par bassin.

Il existe cependant une difficulté mise en évidence par M. Guilhot pour le Chassezac.

Les crues du 30 septembre et 4 octobre sur le Chassezac, dont le débit maximum au pont des Thinettes a été voisin de 2 000 m³/s, ont été dues surtout aux crues de la Borne. Dans l'avenir, il suffirait d'un déplacement relativement peu important de la position de l'averse, pour que ce soit le Chassezac lui-même ou l'Altier qui fournisse la majeure partie de la crue.

Dans ces conditions, des barrages-réservoirs placés sur les divers affluents ne travailleront pas simultanément au même degré et leur capacité totale devra être supérieure à la capacité nécessaire pour une crue donnée.

F. — MESURES A PRENDRE

1° Liaison des services intéressés avec les services de la météorologie de façon à prévoir les précipitations dangereuses quelques heures à l'avance;

2° Equipement des Gardons et de la Cèze en pluviographes et limnigraphes sûrs, permettant un enregistrement intégral des précipitations et

des crues, en éliminant, dans toute la mesure du possible, l'équation personnelle des observateurs, et permettant en outre l'étude de ces crues par la méthode de l'hydrogramme unitaire;

3° Etude de barrages d'atténuation de crues dans les hautes vallées cévenoles.

Les travaux de la Commission pour l'étude des débits de crue

Conclusions sur la question "Débits maximums de crue à prévoir pour un barrage"

The proceedings of the Commission for the study of flood discharges

Conclusions on the topic "Peak flood discharges for designing a dam"

PAR M. MORLAT

CHEF DU BUREAU D'ÉTUDES STATISTIQUES A L'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE,
RAPPORTEUR GÉNÉRAL DE LA COMMISSION POUR L'ÉTUDE DES DÉBITS DE CRUE.

Il me faudrait, selon la lettre du programme, vous entretenir des conclusions des travaux menés par la Commission pour l'étude des débits de crues. En vérité, je pense que le mot « conclusions » est présomptueux, car les travaux de la Commission pour l'étude des débits de crues

doivent reprendre sous la direction de M. Deymié et, à la fin de cet exposé, nous essayerons d'esquisser un programme pour les réunions ultérieures. Donc, mon rôle est plutôt de faire une mise au point.

BREF RAPPEL DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Je veux d'abord faire un bref rappel des travaux menés depuis 1951, dans l'ordre chronologique; je tenterai ensuite d'ordonner logiquement les diverses questions qui ont été étudiées; cela permettra de mieux voir les points faibles qui demeurent et sur lesquels doivent porter les efforts dans les années à venir.

Voici une liste de dates et de chiffres :

2 juin 1951	36
22 juin	27
5 juillet	8
12 octobre	18
23 novembre	18
19 janvier 1954	30
10 décembre	25
23 avril 1956	17
12 septembre 1957	27
16 janvier 1959	45

Il pourrait s'agir des dates et des valeurs des crues d'une rivière.

En fait, vous avez certainement reconnu les dates des réunions de la Commission pour l'étude des débits de crues, auxquelles j'ai joint les réunions qui avaient été organisées en 1956 et 1957 avec M. Gumbel; j'ai porté en regard les nombres de participants, statistique qui m'a été aimablement fournie par M. Boyer; cela met en évidence que l'intérêt pour ces questions ne s'est nullement démenti. Bien sûr, il y a eu des creux et des bosses; c'est conforme aux règles qui régissent les phénomènes aléatoires de ce genre, et des débits de crues auraient présenté des irrégularités similaires.

Je vais rappeler, à partir de cet état chronologique, les caractères dominants des travaux qui ont été menés par notre Commission.

Les réunions de l'année 1951 et celles de 1956 et 1957 ont été consacrées, pour l'essentiel, à des travaux d'ordre méthodologique.

En 1951, elles avaient d'abord pour but de préciser l'état de la question. Après le Congrès de New Dehli, on a passé en revue, en essayant de les classer, les diverses méthodes d'attaque qui avaient été présentées, méthodes d'analyse statistique, d'analyse pluviométrique et considérations d'ordre économique (ou « point de vue actuariel ») qui permettent de fixer l'objectif; il ne faut pas oublier que nous n'avons pas affaire à un problème de science pure, mais à un problème d'ordre pratique : il s'agit d'éclairer des décisions à prendre.

Par la suite, la Commission a décidé, fort judicieusement, d'éclairer ces considérations de méthode par des exposés monographiques relatifs à de grandes crues, survenues en France ou à l'étranger.

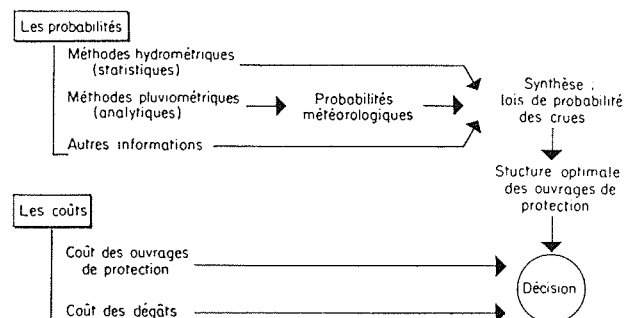
En 1954, en particulier, on a parlé des crues italiennes récentes, de crues américaines, des crues de l'Agout et des crues de la Dordogne. M. Pardé a parlé aussi des crues du Tarn.

Puis, le 16 janvier dernier, ont été étudiées très en détail les récentes crues des Cévennes.

Il importe de souligner l'intérêt de cette double préoccupation : études méthodologiques et monographiques, les unes éclairant les autres.

RELATION ENTRE LES DIVERS PROBLÈMES

Ceci dit, je proposerai une mise en ordre un peu différente des travaux qui ont été faits depuis neuf ans par la Commission, en esquissant un schéma logique :



Ce schéma, qui montre les liens entre les divers aspects de l'étude des crues, mérite quelques commentaires.

Je rappelle l'objectif de la Commission : c'est « l'étude des débits maximums de crues à prévoir pour un barrage et pour lesquels il doit être calculé ». Il s'agit donc d'un problème de décision à prendre en présence d'incertitudes très grandes.

Parmi les éléments qui gouvernent au premier chef ce problème, je passe sur les éléments techniques qui posent des problèmes, soit d'hydraulique, soit de mécanique, faisant l'objet de travaux d'un autre ordre.

Dans l'ordre économique, les deux grandes préoccupations concernent les probabilités et les coûts.

Commençons par les probabilités.

La plupart des méthodes qui ont fait l'objet des travaux de la Commission pendant les premières années, peuvent être classées sous les rubriques suivantes :

- Méthodes hydrométriques ou statistiques comprenant essentiellement l'étude des séries de crues observées dans le passé.
- Méthodes pluviométriques ou analytiques; elles visent à calculer quelle crue résultera d'une averse donnée, dans des hypothèses données, concernant l'état d'un bassin. Le titre le plus connu dans cette rubrique est celui des méthodes d'hydrogramme unitaire, avec leurs diverses variantes (averse isolée, hydrogramme synthétique, ...). Mais si l'on ne veut pas se borner à « calculer avec précision une crue dont on ignore la probabilité », il faut nécessairement joindre, aux méthodes analytiques, l'étude des probabilités des pluies.

Il s'agit certainement là d'un des chapitres les plus difficiles et sur lesquels on a le moins progressé. Mais cette difficulté ne doit pas décourager les chercheurs : il y a beaucoup à gagner sur ce terrain.

Tout cela, joint peut-être à d'autres informations tirées, par exemple, des séries de crues maxima observées sur d'autres bassins, doit donner lieu à une synthèse par laquelle on exprimera au mieux les probabilités des crues.

Ici s'achève la première filière. Si l'on veut de manière saine éclairer la décision du maître d'œuvre, il faut également s'intéresser aux coûts.

Ces derniers sont de deux espèces : il y a les

coûts des ouvrages de protection et les coûts des dégâts en cas de rupture (cas où les ouvrages de protection s'avèreraient insuffisants).

Rappelons seulement, au passage, les difficultés particulières qui peuvent être apportées par des risques de pertes humaines; si, dans nos problèmes, ces risques sont heureusement très faibles en général, il est d'autres domaines où

ces difficultés doivent être abordées de front, tel par exemple le problème des investissements routiers.

Quoi qu'il en soit, c'est la confrontation des probabilités et des coûts qui peut permettre l'emploi d'un critère de décision (par exemple on minimisera l'espérance mathématique du coût global).

LA RÉPARTITION DES CRUES DANS LE TEMPS

Je veux maintenant attirer l'attention sur un problème peut-être un peu négligé : celui de la répartition des crues dans le temps.

L'hypothèse la plus naturelle et, disons-le, la plus chère au statisticien, est que la répartition est uniforme, ou encore que les crues sont réparties, comme on dit, « à la Poisson ». Cela revient à dire que, sur une durée donnée de n années, la loi de probabilité du nombre de crues dépassant un niveau Q_0 donné, est une loi de Poisson dont la moyenne est proportionnelle à la durée envisagée; ou encore, ce qui revient au même (et c'est là une propriété remarquable des distributions de Poisson), la loi de probabilité de la distance qui sépare deux crues consécutives est une loi exponentielle simple.

(Ce qui précède a été énoncé pour simplifier le langage, comme si les phénomènes étaient stationnaires; en fait, pour tenir compte des variations saisonnières, il faudrait utiliser un langage un peu plus nuancé.)

L'hypothèse poissonnienne est-elle justifiée?

Depuis dix ou quinze ans, j'ai entendu dire, dans cette enceinte, des choses bien troublantes à ce sujet, allant dans des sens tout à fait opposés.

D'un côté, on nous dit que les crues ne sont pas absolument réparties au hasard, parce qu'on a observé des bassins où elles apparaissent avec une certaine régularité. Bien sûr, personne ne va jusqu'à croire qu'une crue de probabilité 4 % apparaît tous les vingt-cinq ans, mais on a parfois l'idée (et des documents historiques très sérieux semblent renforcer cette idée) que la distance qui sépare deux crues consécutives d'un niveau donné est moins dispersée que ne le voudrait la loi exponentielle.

On a une telle impression, par exemple, lorsque l'on regarde les dates des très grandes crues du Gard qui avaient été réunies par M. Schenk et dont M. Deymié a fait état dans son exposé sur les crues cévenoles : les grandes crues, qui sont *a priori* celles qui font des morts ou qui provoquent des dégâts énormes, semblent arri-

ver à peu près tous les vingt-cinq ans, avec des distances allant de douze à soixante ans, d'ailleurs comprises le plus souvent entre douze et trente ans. Les statistiques utilisées portent sur une période de l'ordre de quatre ou cinq siècles, de telle sorte qu'on dispose de 18 ou 20 observations. Cela permet de juger très sujette à caution l'hypothèse d'une loi de Poisson.

Il y a deux interprétations possibles :

On peut d'abord penser qu'il y a réellement une pseudo-régularité due à ceci, qu'après une grande crue, le risque d'une nouvelle crue du même ordre serait, non pas nul, mais seulement atténué.

Malheureusement, cette hypothèse n'est étayée par aucune explication physique et je pense qu'il vaudra souvent mieux juger plus vraisemblable une explication d'ordre psychologique. Si des crues figurant dans les statistiques apparaissent en moyenne tous les vingt-cinq ans, avec des intervalles qui sont au minimum de l'ordre de douze ans, c'est peut-être parce que, lorsque deux crues très fortes se succèdent à un intervalle très bref, comme cela doit arriver de temps en temps, suivant la loi de Poisson, de deux choses l'une : ou bien l'opinion des hommes retient seulement la plus forte et l'on oublie l'autre, ou bien celle qui est arrivée en second lieu s'est produite en présence d'une population qui avait déjà été échaudée et a provoqué moins de dégâts; il n'y a peut-être pas eu de morts, quoique la crue fût aussi forte que l'autre : on l'a néanmoins oubliée.

Quel que soit le mécanisme, on conçoit bien que des réactions humaines peuvent expliquer que les dates retenues par les statistiques sont plus régulières que ne le voudrait l'hypothèse d'une répartition au hasard dans le temps.

Comme conséquence pratique, si quelqu'un me dit : « J'ai observé sur tel cours d'eau des crues catastrophiques, en moyenne tous les vingt-cinq ans, avec, de temps en temps, des crues qui se succèdent tous les deux ou trois ans, et, de temps en temps, tous les soixante ou quatre-vingts ans », j'aurai alors l'impression que cette

crue a réellement une probabilité de 4 %. Au contraire, si, comme dans la statistique de M. Schenk, les crues se succèdent à peu près régulièrement tous les vingt-cinq ans, il faut penser que la probabilité du niveau de crue qui est pris en référence est probablement plus grande que 4 % : entre deux crues retenues, il y a celles qu'on a oubliées, et peut-être qu'au lieu de 4 % il faut dire 8 %.

Telle est la première objection à la loi de Poisson et l'interprétation qui nous semble la plus raisonnable.

La deuxième constatation concerne, au contraire, la trop grande irrégularité, ou le fait que les crues se succèdent par paquets : il y a parfois une série de deux ou trois ans pendant lesquels on a des crues atteignant un niveau donné, puis une longue période pendant laquelle on n'en observe plus. Il est possible que, dans

certain cas, cela tienne à l'état du bassin : lorsque les crues relevées sont vraiment très rapprochées (comme c'était le cas pour les crues des Cévennes en septembre et octobre derniers), la seconde crue ne doit clairement pas compter au point de vue probabilité, parce que si l'averse qui l'a produite avait eu lieu quinze jours ou trois semaines plus tard, on ne s'en serait pas aperçu ; c'est parce que le bassin était resté largement saturé et bien préparé que la seconde crue a été du même ordre que la première. Mais il y a quelques cas, cités notamment par M. Pardé, où l'on a des crues tout à fait énormes qui se produisent dans un espace de deux ou trois ans et non pas de deux ou trois semaines.

Il n'est pas facile de tester si de telles rencontres sont anormalement fréquentes ou si elles sont compatibles avec la loi de Poisson ; c'est un sujet d'étude intéressant.

QUELQUES SUJETS POUR DES TRAVAUX ULTÉRIEURS

Parmi les questions où beaucoup reste à faire, figurent les problèmes de probabilités météorologiques qui peuvent certainement apporter une information précieuse dans l'étude des fréquences des crues. Il s'agit, par exemple, de la fréquence sur une longue période de telle situation météorologique, puis des lois de probabilité conditionnelles des précipitations, lorsqu'on connaît la situation météorologique, convenablement caractérisée.

Un autre chapitre sur lequel il semble qu'on a fait peu de chose, est le coût des dégâts. Les probabilités météorologiques et le coût des dégâts comportent d'ailleurs de grandes difficultés, sur lesquelles il est inutile de revenir.

Pour le coût des ouvrages de protection, un travail d'enquête et de synthèse reste également à faire.

Il serait utile d'étudier la répartition géographique des phénomènes qui donnent naissance

à des crues : c'est un problème sur lequel M. Deymié a insisté avec raison.

Une telle étude complétera utilement les travaux du style « hydrogramme unitaire » qui méritent eux-mêmes d'être poursuivis.

Finalement, compte tenu de quelques suggestions dues notamment à M. Deymié, M. Rodier et M. Lugiez, les éléments qui paraissent les plus dignes d'être retenus au programme des travaux ultérieurs de la Commission seront les suivants :

- Probabilités météorologiques ;
- Monographies des crues ;
- Evaluation des risques ;
- Enquête sur les ruptures de barrages ;
- Mesures hydrométriques en crues.

On mesurera, sans peine, l'importance des efforts souhaitables dans ces divers domaines.