

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 111 (1985)  
**Heft:** 18  
  
**Artikel:** Crues et inondations en zone mixte (urbaine-rurale): étude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE)  
**Autor:** Gloor, Rudolf / Sautier, Jean-Luc  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-75653>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 09.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Crues et inondations en zone mixte (urbaine-rurale)

## Etude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE)

par Rudolf Gloor, Lausanne, et Jean-Luc Sautier, Berne

Le comportement hydrologique d'un bassin versant est souvent profondément modifié par l'urbanisation. Pour appréhender correctement la réponse du bassin à l'extension des zones urbaines et à l'augmentation de l'imperméabilité du sol en zone rurale, les méthodes de calcul classiques, bien qu'utiles en première analyse, ne sont pas suffisantes.

L'emploi du modèle mathématique Otthymo, pour la simulation d'événements pluvieux rares, qui a été ajusté à l'aide de nombreuses mesures des principaux paramètres hydrométéorologiques, a permis de montrer quelques effets de l'urbanisation et de déterminer les débits de pointe et les hydrogrammes des crues exceptionnelles. Différentes mesures de protection contre les inondations, ou de réduction des débits de pointe, sont alors analysées et comparées entre elles.

(Article soumis à la rédaction en avril 1984.)

### 1. Introduction

De nombreux facteurs, tels l'urbanisation, les changements du mode de cultures, l'emploi de machines agricoles de plus en plus lourdes, etc. peuvent conduire à une imperméabilisation partielle ou totale d'un bassin versant. Un tel processus entraîne notamment un accroissement des coefficients de ruissellement, une réduction des temps de concentration, ou encore, une amplification des débits de pointe en cas de crue. Il en résulte de fréquentes inondations, notamment par débordement de la rivière, qui souvent pourraient être évitées facilement à l'aide de mesures appropriées et intégrées aux développements urbain et rural.

L'étude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE) [3]<sup>1</sup> [4], que nous résumons ici, nous a donné l'occasion d'approfondir quelques aspects de cette problématique.

### 2. Les inondations

Les 27 et 28 janvier 1979, nous avons eu l'occasion d'observer et d'enregistrer une des plus grandes crues de ce siècle. Les nombreuses inondations recensées lors de cet événement (fig. 1) ont principalement trois causes :

- les débordements directs de la rivière Seymaz ou de ses affluents consécu-

tifs à des sections d'écoulement insuffisantes ;

- la remontée de la nappe phréatique et la saturation des sols empêchant ainsi l'infiltration des eaux pluviales spécialement sur les terrains à très faible pente ;
- l'apport d'eau extérieure au bassin versant, notamment par le débordement de la rivière Foron qui longe la limite Est du bassin versant.

En ce qui concerne un passé plus lointain, nous avons connaissance de 20 événements pluvieux (pluies journalières) plus importants [1] que celui de janvier 1979, dont les trois plus grands ont eu lieu au siècle passé. En une journée il serait tombé 2,3 fois plus de pluie qu'en 1979 (tableau 1), ce qui a dû provoquer des crues très importantes dont nous n'avons malheureusement pas une connaissance concrète.

Notons que des crues de moindre importance ont provoqué des inondations locales en grand nombre.

### 3. Buts de l'étude

Mandaté par le Service du lac et des cours d'eau de l'Etat de Genève, l'Institut de génie rural de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a réalisé de 1977 à 1983 :

Neue Überbauungen wirken sich oft sehr stark auf die Hydrologie eines Einzugsgebietes aus. Um Abflussveränderungen, die infolge der Ausdehnung von Siedlungen oder infolge von Bodenverdichtungen auftreten, korrekt ermitteln zu können, erweisen sich die traditionellen Bemessungsmethoden als unzureichend.

Die Verwendung des mittels zahlreicher Feldmessungen geeichten mathematischen Modells Otthymo erlaubte uns, einige Auswirkungen von Überbauungen aufzuzeigen sowie Spitzenabfluss und Ganglinien seltener Hochwasser zu ermitteln. Verschiedene Schutzmassnahmen gegen Überschwemmungen sowie Massnahmen zur Reduktion des Spitzenabflusses werden anschliessend analysiert und deren hydrologische Auswirkungen untereinander verglichen.

- une étude hydrologique complète et détaillée du bassin versant de la Seymaz ;
- une évaluation des débits de projet pour différentes fréquences d'apparition en considérant l'état d'urbanisation actuel ;
- une analyse des incidences sur l'hydrologie du bassin versant des modifications du degré d'urbanisation ;
- une étude comparative de différentes mesures permettant de limiter les inondations et les dommages causés. L'influence de ces mesures sur les débits de pointe, ou sur les hauteurs d'eau correspondantes, a été particulièrement analysée.

La méthodologie et les outils développés lors de cette étude pilote devraient enfin servir à d'autres études similaires.

### 4. Le bassin versant

Le bassin versant de la Seymaz (GE) (fig. 2) [2] est situé sur la rive gauche du

TABLEAU 1: Quelques événements pluvieux extrêmes (Genève) [1]

Date	1 jour	2 jours	5 jours	
Mai 1827	162	166	176	mm
Octobre 1888	124	170	200	mm
Décembre 1841	123	176	181	mm
Janvier (Jussy) 1979	70	110	124	mm



Fig. 1. — Entrée d'un immeuble du quartier Bel-air (Genève) lors de la crue des 27-28 janvier 1979 et après.

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



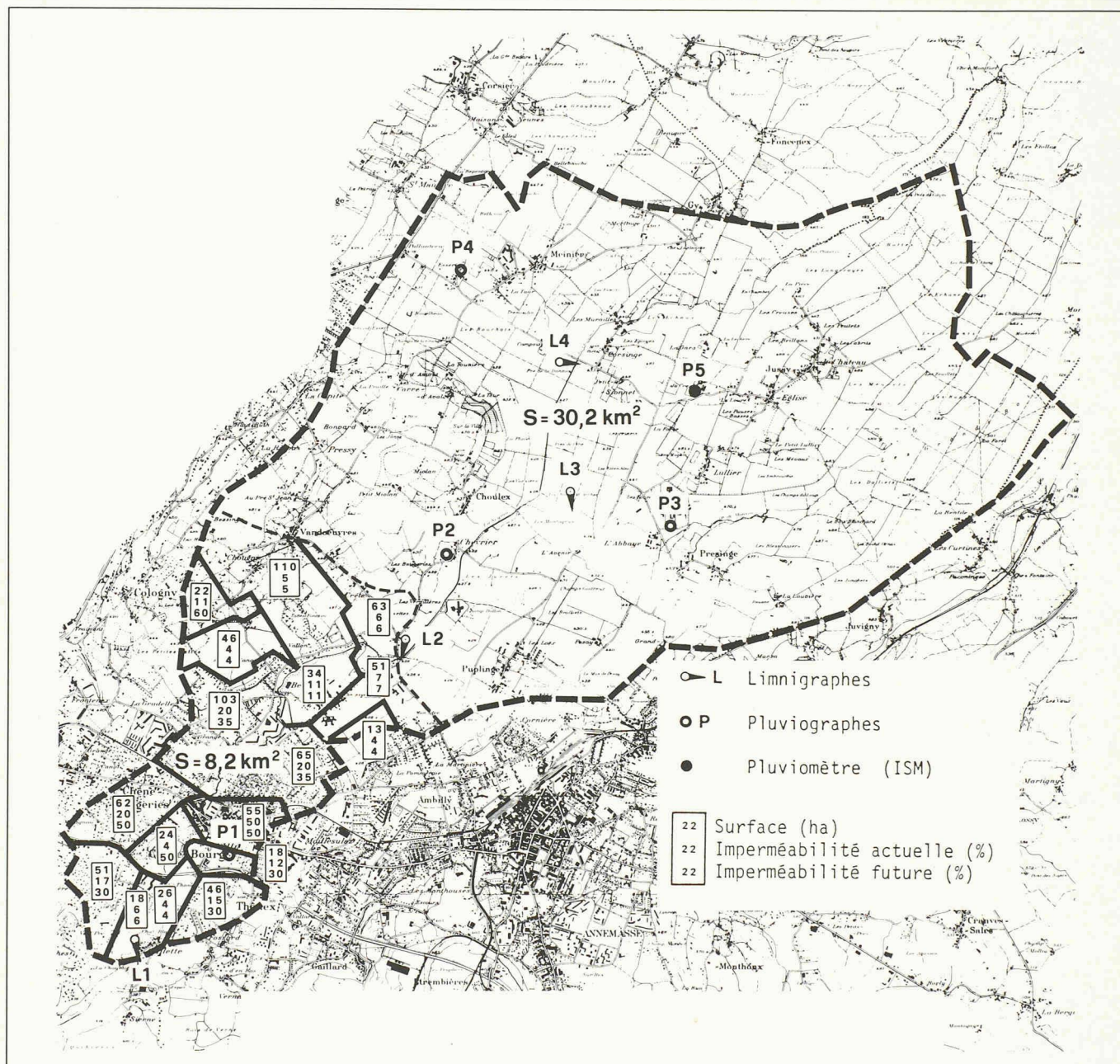


Fig. 2. — Situation générale; points de mesure et subdivision du bassin versant. (Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 14 mars 1984.)

lac Léman, entre Villette au sud, Gy au nord, le coteau de Cologny à l'ouest et la frontière franco-suisse à l'est. D'orientation NE-SO, entièrement sur sol helvétique, il a une superficie de 38,4 km<sup>2</sup> et accuse une pente moyenne de seulement 19 ‰. La rivière Seymaz se jette dans l'Arve à Villette.

En fonction de l'aménagement du territoire nous distinguons principalement deux zones, à savoir:

- la zone rurale (30,2 km<sup>2</sup>) dans la partie amont du bassin versant et dont le temps de concentration  $t_c$  est de dix à douze heures, et
- la zone urbaine (8,2 km<sup>2</sup>) dans la partie aval du bassin versant avec un temps de concentration  $t_c$  de l'ordre de deux à trois heures.

Sur le cours d'eau, la séparation de ces deux zones se situe à Pont Bochet.

## 5. Equipement de mesures

Dans le passé, seules les pluies ont été mesurées dans le bassin versant grâce à un seul pluviomètre installé à Jussy (GE). En 1964, le Centre horticole de l'Etat de Genève a ajouté deux pluviographes, l'un à Meinier, l'autre à Lullier. Jugeant cet équipement insuffisant, nous l'avons complété dès 1977 par deux pluviographes chauffés et surtout par quatre limnigraphes. De ce fait, il nous a été possible:

- d'obtenir rapidement des données pluviométriques et limnimétriques détaillées;
- de connaître leur répartition dans le temps et dans l'espace;
- de pouvoir préciser les apports spécifiques (débits de la zone urbaine par rapport à ceux de la zone rurale).

## 6. Développement urbain

D'après la planification de l'Etat de Genève, le développement urbain d'ici l'an 2000 se fera de manière semblable au passé et ne concernera que la zone en aval de Pont Bochet. L'urbanisation future consistera donc en une intensification de l'occupation du sol dans les quelques sous-bassins actuellement faiblement urbanisés.

L'imperméabilité moyenne du sous-bassin urbain passera alors de 14% actuellement, à 25%.

## 7. Alternatives

Afin de limiter ou de supprimer les nombreux débordements constatés aujourd'hui, par des mesures appropriées en fonction des changements dans l'occupa-



tion du sol, différentes solutions ont été analysées, comme :

- des mesures législatives seules, propres à atténuer les dommages (règlement de construction...);
- des corrections locales du lit de la rivière;
- la création de bassins de rétention;
- la construction d'une galerie de dérivation vers le lac Léman, et
- la mise en place d'un système efficace de contrôle du ruissellement, afin de limiter l'accroissement des débits de pointe.

Ces différentes alternatives sont analysées et comparées entre elles du point de vue hydrologique.

## 8. Méthodes de calcul

Dans une première phase et parallèlement à la collecte des données, nous avons procédé à :

- des analyses statistiques des pluies, dans le but de connaître leurs fréquences, leur répartition dans le temps et dans l'espace, d'établir des courbes « Intensité — Durée — Fréquence » pour une station située dans le bassin versant et enfin d'évaluer les conditions d'humidité antérieures correspondantes aux différents événements pluviaux;
- l'analyse de couples « pluie — écoulement » pour déterminer les ruissellements et leurs variations dans le temps. Ce procédé a permis de définir un seuil de ruissellement (fig. 3), ou encore, d'établir des hydrogrammes unitaires propres au bassin versant;
- l'évaluation des débits de projet par l'emploi de méthodes classiques (formule rationnelle, ajustements statistiques, méthode du Gradex).

Les méthodes de calcul « classiques » ne permettent cependant qu'une analyse limitée de la situation actuelle et elles sont absolument incapables de déterminer l'influence de l'urbanisation sur le comportement du bassin versant. Nous avons donc eu recours aux modèles de simulation mathématique pour évaluer

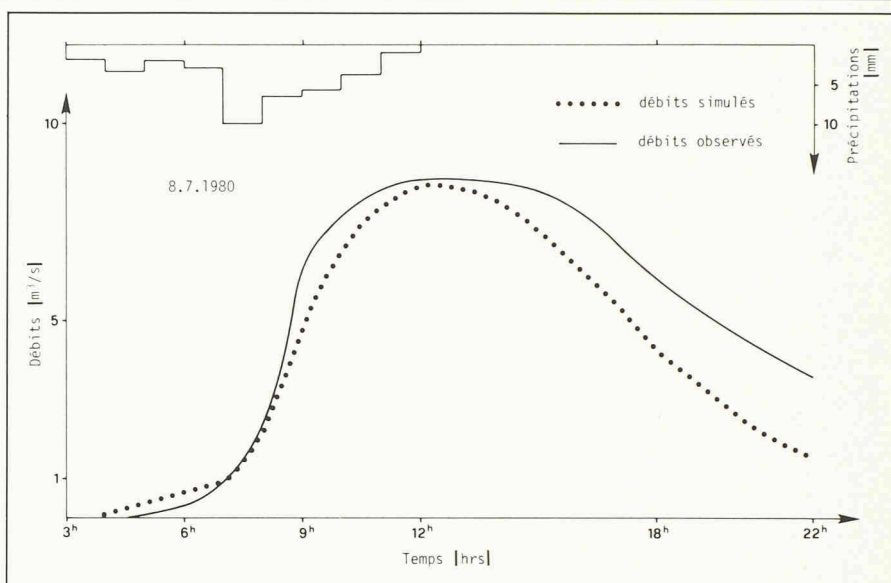


Fig. 4. — Comparaison entre débits observés et simulés par Otthymo pour une pluie réelle de longue durée (Villette).

les modifications hydrologiques imputables spécifiquement au développement urbain. Les modèles mathématiques utilisés sont de deux types :

- a) Le modèle hydrologique Otthymo [5] [6] qui transforme la pluie en hydrogrammes de ruissellement. Ces derniers sont ensuite acheminés le long du cours d'eau et à travers d'éventuels réservoirs.
- b) Le modèle hydraulique HEC-2 [7], qui calcule les profils des plans d'eau dans les différentes sections de la rivière en fonction des débits déterminés précédemment.

## 9. Pluies de projet

Un modèle hydrologique à simulation non-continue, tel que le modèle Otthymo, nécessite comme principale donnée d'entrée des pluies bien définies. Deux possibilités sont alors ouvertes à l'utilisateur :

- la simulation avec une série de pluies historiques sélectionnées. Les débits ainsi calculés sont ajustés suivant une loi statistique et leurs fréquences déterminées. Le débit de projet pour

la fréquence choisie se lira alors sur cet ajustement ;

- la simulation avec une pluie synthétique, dite « de projet ». L'élaboration d'une telle pluie peut se faire suivant de nombreux procédés, mais elle ne restera toujours qu'une approximation de la réalité. La fréquence attribuée à la pluie de projet sera reportée sur le débit résultant de la simulation [8] [9].

Afin de tenir compte au mieux des nombreux critères intervenant dans le calcul d'une pluie de projet, et en fonction des caractéristiques et besoins des sous-bassins versants, nous avons retenu, outre la simulation d'une série de pluies historiques, deux pluies de projets distinctes, à savoir :

- une pluie de longue durée critique pour la zone rurale du bassin versant et d'une durée d'environ dix heures. Après le choix du temps de retour  $T$  de la pluie journalière, sa construction utilise le rapport de la pluie d'une durée  $t$  à la pluie de vingt-quatre heures, ainsi que le rapport des intensités maximales de durée  $\Delta t$  à l'intensité de durée  $t$ . Cette pluie de projet est donc directement élaborée sur la base des pluies enregistrées dans la région d'étude ;
- une pluie de courte durée (de caractère orageux), critique pour la zone urbaine et d'une durée d'environ trois heures. Ce type de pluie de projet, après une analyse des intensités maximales mesurées et une étude de sensibilité de la réaction du bassin versant urbain aux précipitations, se construit selon le modèle de Chicago. L'intensité maximale a été cependant réduite dans une certaine proportion pour tenir compte des conditions locales.

Ce choix de deux pluies de projet différentes nous a permis de tenir compte du caractère mixte (rural et urbain) du bassin versant.

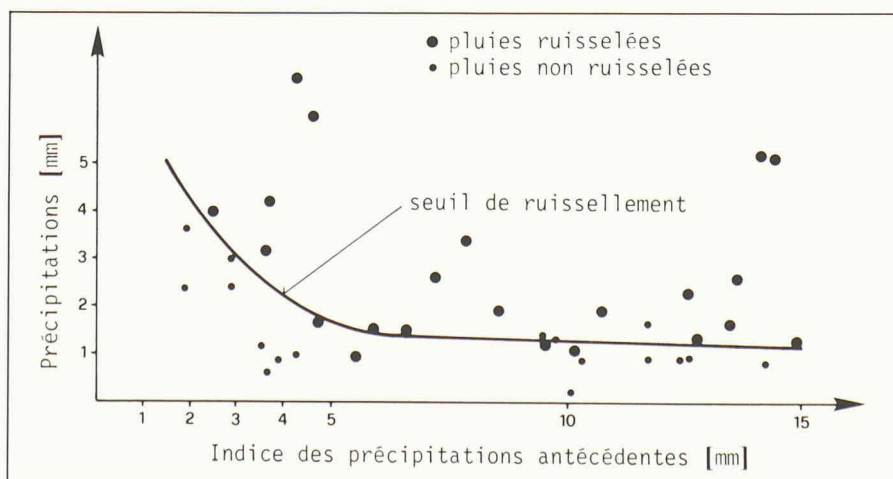


Fig. 3. — Seuil de ruissellement (séparation entre événements ruisselés et non ruisselés).



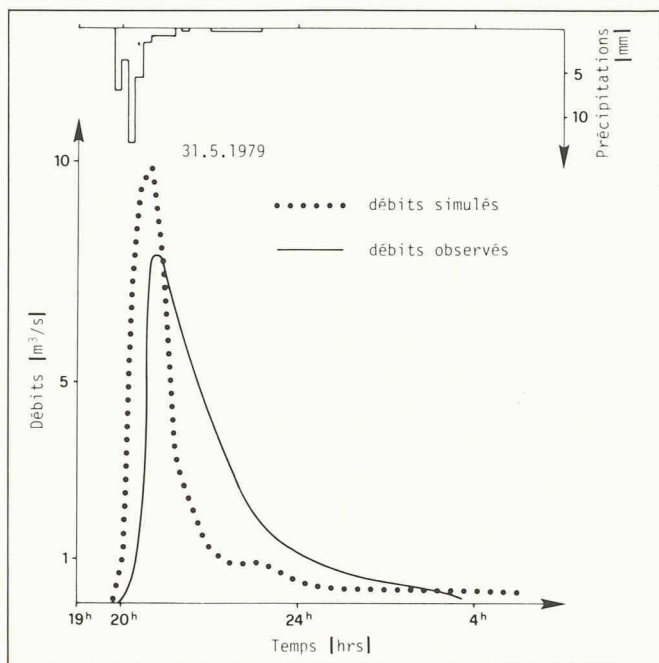


Fig. 5. — Comparaison entre débits observés et simulés par Otthymo pour une pluie réelle de courte durée (Villette).

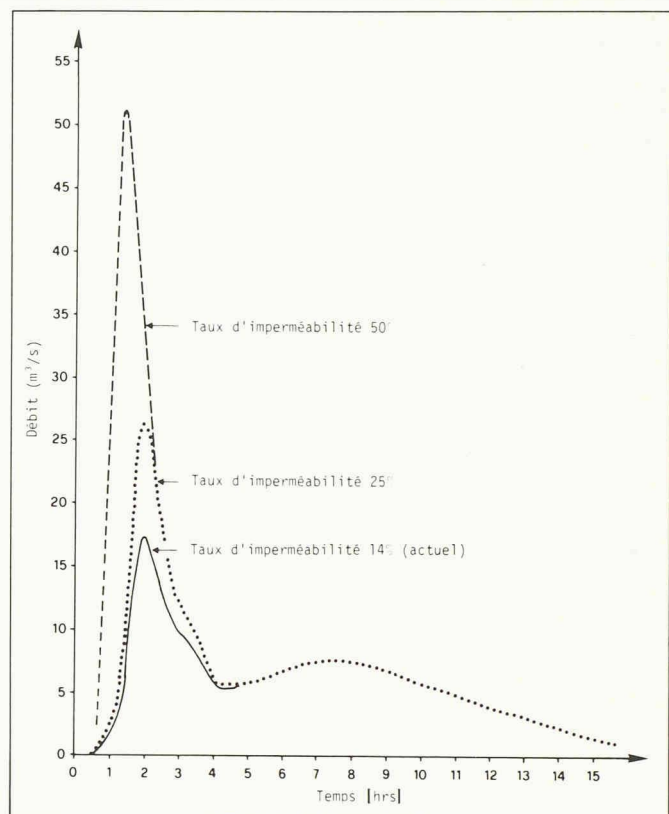


Fig. 6. — Hydrogrammes calculés (Villette) pour différents états d'urbanisation (T = cent ans, zone urbaine seule).

## 10. Résultats

Sur la base des six années d'enregistrement des pluies et des débits, nous avons pu ajuster avec succès le modèle Otthymo pour les conditions prévalant dans la zone rurale et dans la totalité du bassin versant, c'est-à-dire pour les crues résultant de pluies de longue durée (fig. 4).

Dans la zone urbaine, un tel ajustement n'a pas été possible avec des pluies de courte durée. Le nombre d'événements disponibles était nettement insuffisant. Dans cette zone, les calculs se basent cependant sur des paramètres faciles à déterminer sur le terrain (taux d'imperméabilité, surface, pente, etc.) justifiant ainsi notre choix de la pluie de projet (fig. 5).

Les ajustements statistiques des débits calculés par simulation d'une série d'événements pluvieux de longue durée a permis de déterminer les débits de projet pour différentes fréquences et pour ce type de pluie (tableau 2). Le débit centennal est ainsi d'environ 30% supérieur au débit trentennal. Une pluie telle que celle observée en 1888, mais admise uniformément répartie dans le temps, provoquerait un débit équivalent à deux fois le débit trentennal. Seulement, dans ce cas, il n'est pratiquement plus possible de lui attribuer une fréquence.

Les calculs effectués à l'aide des pluies synthétiques retenues, ont permis de confirmer et de compléter ces débits de projet, moyennant un choix approprié des conditions d'humidité antécédentes du bassin versant.

Les débits de projet correspondant aux pluies d'orage d'été (tableau 3) sont très variables et dépendent très directement du taux d'urbanisation (fig. 6).

TABLEAU 2: Débits de projets calculés par simulation d'événements pluvieux observés de longue durée

Lieu	Pluies observées		Pluie de 1888 (uniforme)
	T = 30 ans	T = 100 ans	T = ?
Pont Bochet (zone rurale)	Q = 25 m³/s	Q = 33 m³/s	Q > 50 m³/s
Villette (b.v. total)	Q = 31 m³/s	Q = 40 m³/s	Q > 60 m³/s

TABLEAU 3: Débits de projets à Villette dans le cas des orages d'été

Occupation du sol	T = 30 ans	T = 100 ans
Taux d'urbanisation 14% (actuel)	10 m³/s	18 m³/s
Taux d'urbanisation 25% (futur)	17 m³/s (+ 70%)	27 m³/s (+ 50%)

D'autre part, les calculs hydrauliques nous ont principalement démontrés que :

- la hauteur d'eau dans la rivière n'est que très faiblement influencée par le débit, l'écoulement de cette rivière étant proche de son niveau énergétique minimal;
- la largeur de la section d'écoulement a cependant une très grande influence sur les hauteurs d'eau, et par conséquence, sur les dimensions des digues ou autres ouvrages de protection.

L'analyse détaillée des débits spécifiques nous permet de les mettre en relation avec les surfaces d'apport et les taux d'imperméabilité du sol (fig. 7). Ceci nous

aide à mieux comprendre la sensibilité de la réponse du bassin versant aux précipitations.

## 11. Analyse des solutions

Il ne paraît pas approprié de maintenir le statut quo «hydraulique» des cours d'eau, tout en adoptant, par exemple, des mesures législatives propres à atténuer les dommages causés par les inondations. En effet la fréquence de celles-ci est trop élevée.

La galerie de dérivation projetée entre la Seymaz et le lac Léman contribuerait à une réduction de l'ordre de 40% à 45%



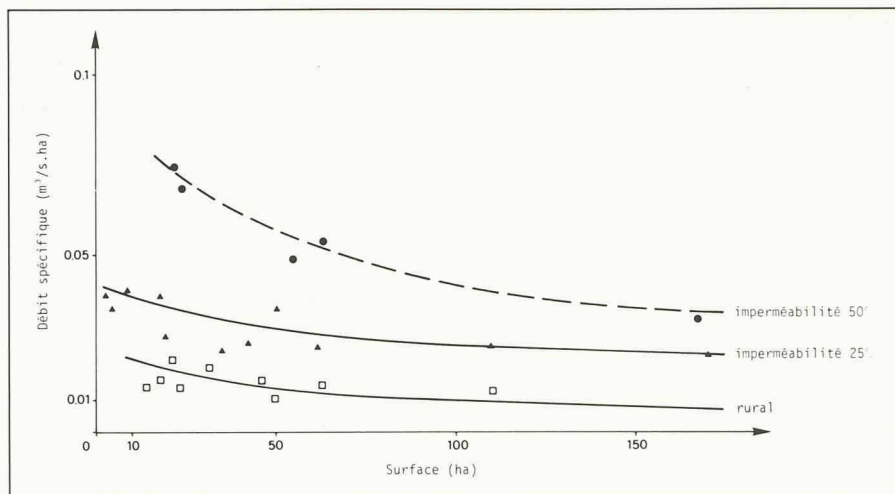


Fig. 7. — Variation du débit spécifique en fonction de la surface d'apport.

des débits de pointe dans le cas de pluies de longue durée. Par contre, pour des pluies orageuses, aucune réduction des débits de projets n'est à attendre et les inondations persisteront.

Malgré son coût élevé, une telle galerie, prolongée à ciel ouvert jusqu'au Foron, apporterait un certain avantage. L'évacuation partielle des eaux du Foron contribuerait à limiter les inondations dans les deux bassins versants.

L'écrtage des crues par des bassins de rétention, même importants, en zone rurale est nettement insuffisant et sans commune mesure avec l'emprise du terrain nécessaire à de tels ouvrages.

Les problèmes d'inondation et d'écoulement de la Seymaz peuvent être résolus localement par des modifications de la section des endiguements et/ou des surcreusements du fond. Un emplacement judicieusement choisi des digues, par exemple, permet de réaliser des avantages substantiels. Une attention particulière doit être accordée aux problèmes de l'environnement.

Lors de futures constructions, l'obligation d'appliquer les principes d'un contrôle du ruissellement (choix des revêtements, limitation des surfaces imperméables, écoulement des eaux de toiture dans le sol, etc.) permettra de maintenir les débits de pointe des cours d'eau proches de leur niveau actuel. De telles mesures peuvent donc fort bien accompagner d'autres efforts d'assainissement.

#### Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes qui les ont aidés et soutenus dans cette étude. Nous sommes particulièrement reconnaissants au professeur Paul Wisner, de l'Université d'Ottawa (Canada), et à ses collaborateurs, de nous avoir mis à disposition le modèle Otthymo et de nous avoir guidés dans son utilisation.

Une information objective du public sur les causes des inondations, les risques encourus, les mesures constructives propres à améliorer l'écoulement, et sur la nécessité d'établir des cartes de risques et de renforcer les lois et règlements applicables aux constructions, ne peut que contribuer à une meilleure protection contre les crues.

#### 12. Conclusions

Les nombreuses mesures hydrométéorologiques effectuées dans le bassin versant de la Seymaz ont été très appréciées, notamment :

- pour séparer clairement les apports de la zone urbaine du reste du bassin ;
- pour évaluer l'effet des conditions d'humidité du sol préexistantes sur le ruissellement et les débits ;
- pour définir les deux types de pluies de projets caractéristiques, et finalement ;
- pour calibrer et vérifier les modèles mathématiques.

#### Bibliographie

- [1] ZELLER J., GEIGER H., RÖTHLISBERGER G. : *Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes*, vol. 6 EAFV, 1984
- [2] SAUTIER J.-L. : *Etude hydrologique de la Seymaz (GE) — 1<sup>re</sup> partie*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 153, 1979.
- [3] GLOOR R., JORDAN J.-P., SAUTIER J.-L., WISNER P. : *Etude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE) — Rapport final*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 173, 1983.
- [4] GLOOR R., JORDAN J.-P., WISNER P. : *Etude hydrologique du bassin versant de la Seymaz (GE) — Synthèse*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 174, 1983.
- [5] GLOOR R. : *Compte rendu des Journées d'études en hydrologie de surface — EPFL 1982 — 2<sup>e</sup> partie*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 164, 1982.
- [6] JORDAN J.-P., WISNER P. : *Description du modèle Otthymo et exemples d'application*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 172, 1983.
- [7] US-ARMY : *Manuel d'utilisation du modèle HEC-2*.
- [8] JATTON J.-F. : *Contribution à l'étude des relations pluies-débits dans les petits bassins versants ruraux*. EPFL, thèse n° 453, 1982.
- [9] JATON J.-F. : *Etude de la pluie de projet*. Institut de génie rural EPFL, IGR n° 176, 1984.

D'autre part, l'application du modèle mathématique Otthymo à l'étude de la Seymaz a rendu possible :

- une étude hydrologique plus fine en subdivisant le bassin versant en sous-bassins relativement homogènes ;
- l'étude comparative de plusieurs alternatives ;
- l'étude d'impact d'urbanisations futures ;
- l'étude d'influence de différents types de pluies.

#### Adresse des auteurs :

Rudolf Gloor, ing. civil dipl. EPF  
Institut de génie rural  
Hydrologie et aménagements  
EPFL - Ecublens  
1015 Lausanne — Suisse

Jean-Luc Sautier, ing. rural dipl. EPF  
Office fédéral des améliorations  
foncières  
Mattenhofstrasse 5  
3003 Berne — Suisse

## Actualité

### Détection des fissures dans l'acier à un stade préliminaire

Un instrument de mesure développé à l'Institut norvégien central de recherches industrielles pourrait révolutionner le contrôle des structures en acier, comme par exemple les plates-formes pétrolières. Le nouvel instrument

peut à tout moment lire les « empreintes digitales » de l'acier et enregistrer très tôt la formation de fissures. La formation de fissures dans l'acier a été la phase initiale de la catastrophe de la plate-forme pétrolière « Alexander L. Kielland », qui s'est renversée en mer du Nord en mars 1980. L'instrument peut être utilisé in situ, étant donné qu'il est fixé sur les points d'assemblage de la

construction particulièrement importants pour la sécurité.

La nouvelle méthode consiste à faire passer le courant dans un certain point de la construction en acier, à l'amener à un autre point, en enregistrant la chute de tension et en analysant le champ électrique du métal ou ses « empreintes digitales ».

La formation de fissures modifie les « empreintes digitales », le courant électrique devant suivre une autre voie. Ces changements peuvent être lus et analysés.

Une plate-forme pétrolière, une centrale nucléaire ou d'autres constructions doivent avoir un certain nombre d'instruments de mesure situés à différents endroits, selon la taille et le type de structure. Les données de tous ces points peuvent alors être réunies en un point central, ce qui permet un contrôle continu des principaux points de liaison ou de jointure.

La commercialisation de ce système demandera encore un certain temps.