

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 117 (1991)  
**Heft:** 25

## Sonstiges

### 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:** 16.04.2026

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

## Actualité

### Béton structural – Une synthèse

Colloque AIPC<sup>1</sup>,  
Stuttgart 10-12 avril 1991

La présente synthèse vise à attirer l'attention des ingénieurs civils sur le thème du béton structural et à solliciter leur appui pour promouvoir et mettre en pratique les idées présentées.

#### Introduction

Quelque 300 ingénieurs civils en provenance de plus de 30 pays se sont réunis à Stuttgart du 10 au 12 avril 1991 pour discuter d'une approche unifiée des projets de constructions en béton sous toutes ses formes – béton non armé, armé ou précontraint –, sous le thème général de «béton structural». Alors que le béton armé est entré dans son deuxième siècle d'existence et que le béton précontraint compte plus de 50 ans, le colloque de AIPC reconnaissait ainsi qu'il était temps d'élaborer une synthèse et de transformer en une approche clairement définie le processus de projet d'ouvrages en béton structural. Il a été proposé de symboliser cette approche unifiée et cohérente par l'introduction de la définition unique de «béton structural» pour toute application du béton dans une structure ou un élément de structure. Ainsi, le béton structural couvre un spectre continu, des applications les plus simples du béton non armé aux combinaisons les plus évoluées du béton et de l'acier – l'acier pouvant lui-même être une armature ordinaire, un acier de précontrainte ou un élément structural métallique tel qu'il est utilisé en construction mixte.

Les objectifs du colloque étaient :

- d'unifier l'élaboration des projets de constructions en béton non armé, armé et précontraint selon l'approche générale du béton structural
- de concentrer l'attention de l'ingénieur sur le comportement global de la structure et sur les flux de force dans celle-ci
- d'introduire des modèles rationnels et transparents permettant une meilleure approche des détails de construction
- d'encourager l'harmonisation des normes et codes de construction pour le béton armé et précontraint dans des documents communs avec une approche cohérente
- d'encourager une discussion ouverte de ces questions.

Le colloque a été mis sur pied à l'initiative de la Commission de travail III de

l'AIPC, présidée par le professeur J.E. Breen (Etats-Unis). Durant de nombreuses années, cette commission s'est préoccupée du fait que le projet et la construction de structures en béton de haute qualité sont mis en question par des normes et codes de construction complexes, limités, fragmentaires et incohérents. L'innovation et la conception de projet, contributions essentielles des ingénieurs civils, ont perdu de leur importance, les ingénieurs devant passer un temps considérable à comprendre et satisfaire des règles détaillées et incohérentes. Ces règles détournent l'attention des considérations essentielles à une conception générale économique, esthétique et sûre d'un projet. Tout au long du colloque, de nombreux orateurs ont insisté sur le fait qu'il ne s'agissait pas, dans un projet, de faire ce qui était théoriquement possible, mais plutôt ce qui est nécessaire.

Le colloque a été préparé par un comité scientifique présidé par le professeur J. Schlaich de Stuttgart. Les thèmes principaux en étaient :

1. Béton structural (définition et besoins)
2. Modèles de projet cohérents pour le calcul, l'analyse et les détails de construction
3. Application dans les normes de construction
4. Influence sur les structures de l'avenir.

La présente synthèse a été préparée par les membres du comité scientifique sur la base des conclusions présentées par les animateurs de séances lors d'une table ronde finale. Elle tient également compte des commentaires des participants et a été revue par le comité scientifique du colloque.

Sa publication vise à indiquer quelques domaines où un accord général est intervenu. Il n'était pas possible, en trois jours seulement, de formuler avec précision des résolutions en vue d'un vote final. De même, le temps a manqué pour rédiger un texte rigoureux, de sorte que les déclarations finales doivent être prises comme des recommandations plutôt générales que spécifiques.

Le colloque a présenté un caractère véritablement international, avec des différences évidentes, selon l'origine des participants, dans les problèmes et leur approche. Peu de personnes venaient de régions à haute activité sismique, c'est pourquoi les conclusions ne reflètent pas les problèmes majeurs des zones soumises aux tremblements de terre. D'autre part, des efforts subs-

tantiels ont déjà été fournis dans certaines régions pour harmoniser les normes de construction. Les conclusions individuelles doivent donc être interprétées selon la situation régionale actuelle.

#### Conclusions de la table ronde finale

Parmi les conclusions principales proposées par les animateurs de séance, les conférenciers invités, les membres du comité scientifique et divers participants à la discussion orale et écrite, mentionnons les points suivants :

#### Généralités

1. «Béton structural» devrait être le terme général pour toutes les applications structurales allant du béton non armé (utilisé pour les parois, fondations, etc.), en passant par les applications de béton armé et allant jusqu'au béton précontraint ou postcontraint et à leurs combinaisons.
2. Les normes et codes de construction régionaux et nationaux devraient être présentés sous la forme de documents communs dans un cadre général cohérent pour tous les types de structures en béton. Ce cadre devrait aussi permettre de combiner facilement le béton structural avec d'autres types de matériaux structuraux (dans la construction mixte ou hybride). Les normes et codes de construction devraient souligner l'importance des conditions de performance et présenter des règles claires et transparentes ou des modèles sur lesquels l'auteur d'un projet peut se fonder.
3. Les organisations professionnelles et scientifiques devraient collaborer non seulement entre elles pour intégrer le béton non armé, armé et précontraint sous une dénomination générale de béton structural, mais encore, en vue d'une harmonisation, avec des organisations nationales et internationales similaires pour d'autres matériaux de construction.
4. Dans le domaine de la formation, les cours et les documents de cours devraient recevoir une nouvelle orientation afin de souligner l'importance de l'aspect continu du béton structural, sans présenter de barrières artificielles ou de distinctions entre ses différentes applications comme par exemple «béton armé» ou «béton précontraint».

#### Concepts de dimensionnement

5. La qualité des structures est déterminée essentiellement par la conception de la structure, le dimensionnement et les détails de construction, facteurs auxquels

<sup>1</sup> Association internationale des ponts et charpentes.

- s'ajoutent évidemment la qualité d'exécution et les moyens financiers du maître d'ouvrage.
6. Les principes de dimensionnement devraient être cohérents pour tous les types de structures en béton et unifiés sous le terme général de «béton structural». Des efforts accrus doivent être consentis afin d'appliquer les normes de sécurité de façon cohérente à tous les types de constructions en béton structural, qu'il s'agisse de poutres traditionnelles en béton armé ou précontraint, de dalles précontraintes avec ou sans adhérence, de constructions à précontrainte externe ou encore de ponts haubanés. Une telle conception de la sécurité devrait être fondée sur des facteurs de sécurité partielle tenant compte de certaines incertitudes et imprécisions du modèle, ainsi que des variations de la géométrie et des matériaux. Elle devrait assurer un comportement sûr pour les différents niveaux de service et une ductilité suffisante du système jusqu'à la rupture; ainsi la robustesse générale de l'ouvrage devrait être garantie.
  7. L'effort principal du projeteur devrait consister en une étude approfondie du comportement global de la structure, considérant les possibilités de dommage et les facteurs agressifs de l'environnement, et en contrôlant le flux des contraintes dans la structure par un projet adéquat.
  8. Le dimensionnement devrait considérer à la fois l'état limite ultime (ULS) et l'état limite de service (SLS), tous deux pouvant conditionner les dimensions du béton et la quantité d'armature. Les effets dus à la température, au fluage, au retrait et au tassement des fondations n'ont qu'une influence négligeable sur la résistance ultime, pour autant que la structure soit suffisamment ductile et que l'effet mentionné ne fasse pas apparaître de problèmes du second ordre. La théorie de la plasticité, et en particulier la méthode statique (borne inférieure), fournissent une base pour le dimensionnement à l'état limite ultime (ULS), bien qu'il soit indiqué de garder les conditions de compatibilité présentes à l'esprit. En général, les conditions d'aptitude au service concernant les flèches, l'ouverture des fissures, les vibrations et la durabilité influencent ou même déterminent la disposition de l'armature, qui peut souvent être orientée afin de résister aux forces de traction indiquées par la théorie de l'élasticité. Le respect de ces conditions dépend en particulier du choix de

la précontrainte ainsi que de la dimension des barres, de leur espacement, de la couverture de béton, de la qualité du béton et d'autres facteurs qui peuvent influencer l'ouverture des fissures, leur espacement et la durabilité globale. Les contrôles à l'état de service dans les régions fissurées devraient appliquer le même modèle mécanique partant du comportement du matériau à l'endroit de la fissure. Ce modèle devrait être utilisé pour calculer l'ouverture des fissures, les effets de la contribution du béton en traction, les déformations, les zones d'ancrage, la rigidité, etc.

9. La ruine de structures réelles montre clairement que l'intégrité structurale globale dépend essentiellement du dimensionnement correct et des détails de construction, en particulier dans les régions de discontinuité géométrique, aux points d'introduction des charges et aux nœuds. Lorsque des méthodes de dimensionnement des sections sont utilisées pour répartir l'armature, le schéma général et les ancrages de l'armature devraient être contrôlés afin de s'assurer que tirants, bielles et nœuds sont conçus et dimensionnés correctement.

#### *Modèles et procédures de calcul et de dimensionnement*

10. Dans toutes les phases de calcul et de dimensionnement, le système choisi pour la structure doit être contrôlé d'un point de vue global, régional et local, afin de garantir un comportement satisfaisant. Suivant les critères de dimensionnement, l'importance et la complexité de la structure ainsi que d'autres facteurs, nombre d'hypothèses peuvent être formulées pour le modèle analytique et le genre d'analyse à effectuer tels que, par exemple, un calcul linéaire ou non linéaire, un calcul statique ou dynamique, une analyse en fonction du temps, etc.
11. Les méthodes de calcul utilisées devraient correspondre aux hypothèses et aux résultats attendus. Tous les projets devraient être fondés sur des modèles clairs découlant des principes de la mécanique et incorporant les lois de l'équilibre, de la cinématique et des matériaux. L'effort devrait porter sur des modèles adaptés et transparents facilitant la visualisation du comportement de la structure. Les modèles devraient être choisis en vue d'éviter des complications inutiles tout en montrant les mécanismes de rupture corrects. Des modèles plus évolués

devraient être réservés aux calculs de structure complexes ou à des applications dans le domaine de la recherche.

12. Le processus du projet comprend une phase de dimensionnement et une phase de contrôle. Dans la première, des modèles extrêmement transparents devraient être utilisés pour mettre en évidence le flux des forces. Dans les régions où la distribution des contraintes est linéaire, l'état interne de contrainte peut être déterminé à partir des forces dans la section ( $M, N, T$ ) ou à partir de modèles de treillis comprenant des champs de contraintes. Dans des régions où la distribution des contraintes est non linéaire, l'état interne de contrainte peut être déterminé à l'aide de modèles de bielles et tirants comportant des bielles de compression, des tirants et des nœuds, avec une géométrie appropriée.
13. Une analyse linéaire par éléments finis peut être utile dans la phase de dimensionnement, afin de déterminer la répartition des contraintes et de développer un modèle adéquat de bielles et de tirants. Une analyse non linéaire par éléments finis est possible dans la phase de contrôle de structures en béton particulièrement complexes. L'emploi de cette méthode requiert des connaissances approfondies et un jugement très sûr. Des contrôles indépendants doivent être réalisés pour vérifier l'équilibre général et la disposition adéquate de toutes les armatures dans la zone des nœuds. Etant donné que la valeur des paramètres de calcul peut influencer de façon substantielle les résultats, les bornes extrêmes devraient être contrôlées.

#### *Approche cohérente de la précontrainte*

14. La précontrainte est obtenue par un processus contrôlé de mise en compression des éléments en béton au moyen de fils de précontrainte, torons, barres ou câbles (armature de précontrainte) ou par l'imposition d'une déformation relative entre les différents composants de la structure. La précontrainte doit être traitée de façon cohérente et dans le cadre d'un système de dimensionnement unifié pour le béton structural. Les discussions du colloque ont montré que certains participants préfèrent traiter la précontrainte en considérant les forces dues à l'effort de précontrainte comme des forces extérieures appliquées au béton, tandis que d'autres considèrent l'acier de précontrainte comme une partie intégrante de

l'élément, contribuant ainsi à sa résistance. Les deux approches, appliquées correctement, doivent conduire au même résultat.

15. Les normes ou codes de construction ne devraient pas fixer de limites numériques spécifiques au degré de précontrainte. Le projeteur devrait être encouragé à choisir une précontrainte raisonnable, tenant compte de la nécessité de contrôler l'ouverture des fissures et les déformations, de minimiser les attaques dues à l'environnement ou à la fatigue et d'assurer la sécurité à l'état limite ultime. Dans ce contexte, des conditions de performance sont préférables à des règles trop détaillées, dont la validité est limitée.

#### *Contribution de la résistance à la traction du béton*

16. La prise en compte de structures en béton non armé ou très faiblement armé dans une approche unifiée du béton structural exige qu'une attention accrue soit accordée au rôle de la résistance à la traction du béton, telle que le définit la mécanique de la rupture. Une approche unifiée doit permettre une transition douce entre le domaine de la plasticité et le domaine de la mécanique de la rupture.
17. Le comportement du béton structural dépend dans de nombreux cas de la résistance à la traction du béton. Si cette dernière est prise en compte au-delà des niveaux habituellement acceptés, le projeteur doit contrôler avec prudence toutes les conditions défavorables (c'est-à-dire des déformations imposées désirées, des contraintes internes thermiques ou dues au fluage, etc). Des conditions favorables existent si la propagation des fissures est stable jusqu'à la charge maximum ou si une ductilité suffisante du matériau ou du système permettent la redistribution des efforts internes.

#### *Charges dynamiques et sismiques*

18. Les structures soumises à des charges dynamiques devraient être conçues et réalisées en considérant l'interaction entre les caractéristiques particulières des actions dynamiques (harmoniques, périodiques, brèves) et la réponse de la structure. Il faut particulièrement veiller aux relations entre l'aptitude au service de la structure et sa sécurité, entre sa capacité d'amortissement des chocs et son absorption de l'énergie d'une part, et la forme générale de la structure, ses détails de construction, son degré de précontrainte et

d'autres facteurs déterminants d'autre part.

19. Lors du colloque, peu de discussions ou de considérations ont eu pour objet les projets et les détails de construction relatifs aux tremblements de terre importants. La nécessité d'offrir une ductilité importante sous charges cycliques avec inversion des charges indique que des techniques telles que les modèles de bielles et tirants pourraient nécessiter quelques modifications ou développements additionnels pour les zones de la structure autres que les nœuds fortement confinés, cela à cause de la détérioration des bielles de compression ou de l'ouverture permanente de larges fissures.

#### *Validité des essais*

20. Des essais sur des éléments de structure peuvent apporter des précisions ou des confirmations quant à un projet ou à une théorie. Les résultats doivent en être interprétés au moyen de modèles théoriques appropriés, pouvant être utilisés pour une extrapolation à partir des données mesurées. La contribution de la résistance à la traction du béton doit être prise en compte dans une optique critique. Les essais doivent simuler toutes les conditions défavorables possibles pour la structure réelle.

#### **Déroulement du colloque**

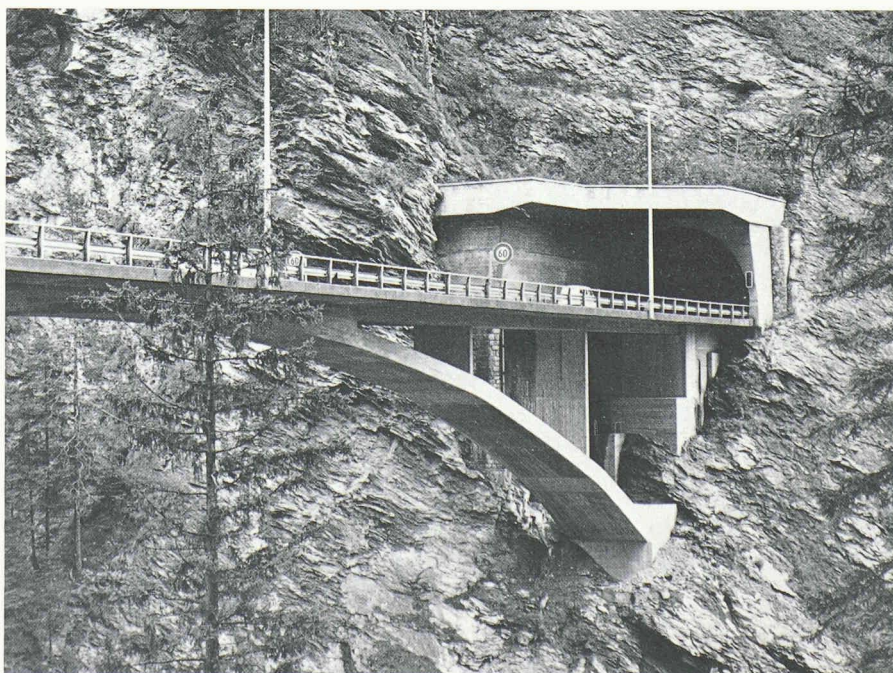
Cette manifestation a eu lieu à l'Université de Stuttgart. Le comité d'organisation présidé par K.-H. Reineck a rempli son rôle avec compétence, assurant aux participants un séjour utile et agréable à Stuttgart.

Le colloque a été ouvert par le professeur Fritz Leonhardt (Allemagne), membre d'honneur de l'AIPC, qui a présenté le discours d'ouverture. Les participants au colloque auront pu entendre 98 conférences<sup>2</sup>. Parmi les contributions principales, citons celles des conférenciers invités :

J.E. Breen, Austin ; A.S.G. Bruggeling, Nootdorp ; M. Wicke, Innsbruck ; J. Eibl, Karlsruhe ; J. Schlaich, Stuttgart ; T.P. Tassios, Athènes ; H. Trost, Aix-la-Chapelle ; A. Scordelis, Berkeley ; M. Menegotto, Rome ; J.G. MacGregor, Edmonton ; P. Marti, Zurich ; R. Park, Christchurch ; A. Hillerborg, Lund ; G. König, Darmstadt ; T. Tanabe, Nagoya ; R. Walther, Lausanne ; D. Vandepitte, Gand ; M. Virlogeux, Bagnex ; H. Kupfer, Munich ; H.-U. Litzner, Wiesbaden ; J. Blaauwendraad, Delft.

L'intérêt général et l'importance du colloque ont été mis en évidence par l'active participation des membres les plus importants et les plus influents des organisations qui jouent un rôle essentiel dans le développement des normes de construction en béton structural, dont l'American Concrete Institute (ACI), l'Association française pour la construction (AFPC), l'AIPC, le comité Euro-International du Béton (CEB), la Danish Society for Structural Science and Engineering, le Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), le Deutscher Beton-Verein e.V. (DBV), la Fédération internationale de la précontrainte (FIP).

<sup>2</sup> Le texte complet des contributions au colloque est présenté dans le rapport AIPC, Volume 62 «Structural Concrete». Ce rapport de 872 pages peut être obtenu auprès du Secrétariat AIPC, EPFZ-Hönggerberg, 8093 Zurich, au prix de Fr. 180.- (Fr. 120.- pour membres).



## Engrais et protection phytosanitaire venus du ciel

L'approvisionnement alimentaire de la plupart des pays en voie de développement ne s'est pas amélioré de façon notable au cours des années 80 : ce sont les conclusions d'une étude de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture de l'ONU - plus connue sous son sigle anglais de FAO -, présentant à titre de comparaison les moyennes établies sur trois ans pour les périodes respectives de 1986 à 1988 et de 1979 à 1981. La situation se révèle particulièrement défavorable dans de nombreux pays d'Afrique où, durant les périodes de référence, l'approvisionnement par habitant et par jour a régressé de 2148 à 2119 calories. Le danger de famine ne fait que croître !

L'approvisionnement en Extrême-Orient (Japon exclu), en dépit d'une légère amélioration de 35 calories portant la quantité journalière à 2220 calories par habitant, se situe à un niveau approximativement aussi bas. En Amérique latine, on relève 2662 calories par jour (contre 2631 de 1979 à 1981), alors qu'au Proche-Orient cette valeur se monte à 2915 calories (2794). En Europe occidentale, en Europe de l'Est (y compris l'Union soviétique) ainsi qu'en Amérique du nord, cet apport dépassait la dose quotidienne de 3400 calories par personne.

Afin de pouvoir engranger de meilleures récoltes, l'agriculture africaine a de toute urgence besoin d'aide, tient à souligner la FAO. Sur les grandes surfaces menacées par les prédateurs, il convient d'épandre avec le maximum d'efficacité engrais et produits de protection phytosanitaire. En bien des endroits, on a déjà mis en service de petits avions conçus à cet effet. En Allemagne, des ingénieurs agronomes

de l'Administration centrale du Margraviat du pays de Bade, à Salem, sur les bords du lac de Constance, ont construit un type d'ULM destiné à l'agriculture et équipé de réservoirs, permettant très facilement à une personne d'asperger de grandes surfaces à une hauteur de vol réduite à 1 à 2 mètres seulement, à une vitesse de tra-

vail de quelque 70 km/h. Contrairement aux méthodes d'épandage par hélicoptère, on évite ici les turbulences, de sorte que l'ULM réduit à un minimum la pollution et le bruit. Des demandes de renseignements ont d'ailleurs déjà été adressées par des exploitants agricoles africains au centre de recherches agronomiques de Salem.

R. (IN-Press)

## Préserver la viticulture de l'Allemagne de l'Est

### *Les nouveaux Länder allemands à la recherche de marchés*

Maintenant que l'unité de l'Allemagne est parachevée, la viticulture recommence elle aussi à s'épanouir en Allemagne de l'Est. Tout récemment encore, le ministre fédéral allemand de l'alimentation, de l'agriculture et des forêts, M. Ignaz Kiechle, invitait instamment les ministres de l'agriculture des cinq nouveaux Länder allemands à « préserver la viticulture millénaire de l'est de l'Allemagne et à promouvoir la culture de la vigne sur les rives de la Saale, de l'Unstrut et de l'Elbe ». Les chances sont bonnes pour que les vins est-allemands puissent à nouveau être commercialisés dans un proche avenir déjà.

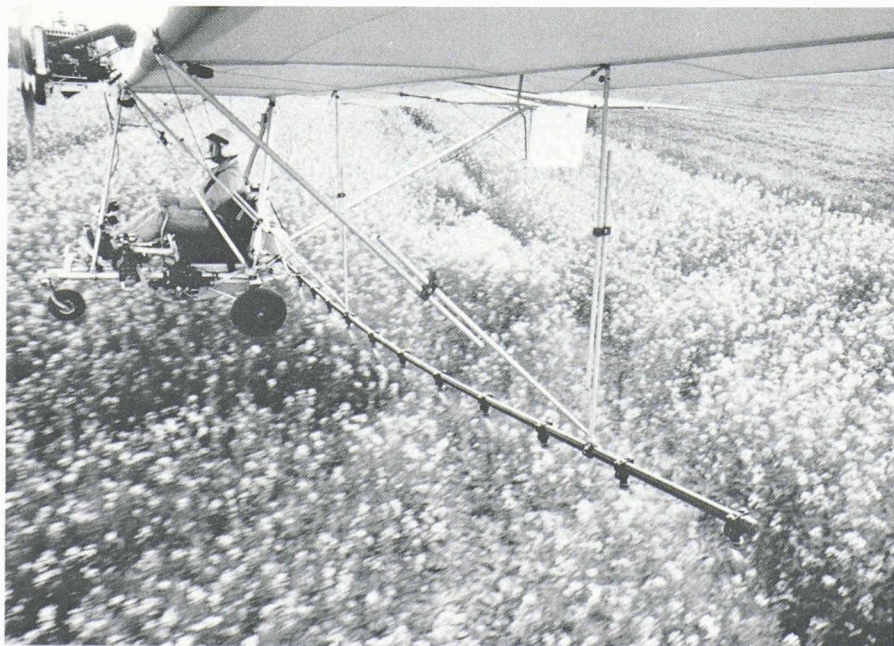
Dans les milieux de connaisseurs, les plus septentrionaux des vins allemands passent pour musclés, secs et pourtant légers. On les stocke assez généralement sans réserves de sucre et dans des fûts en bois. Dorénavant, des contrôles de qualité sont effectués dans les fichiers des viticulteurs et dans les registres de cépages. Des représentants de la Commission de la Commu-

nauté européenne (CE) sont déjà venus s'informer sur place. La production, sur les quelque 800 hectares de vigne, atteint annuellement quelque 23 000 hectolitres de vin, alors que les onze terroirs viticoles ouest-allemands atteignent allègrement les 9,4 millions d'hectolitres. On souhaite que les 1200 viticulteurs de l'est de l'Allemagne puissent continuer à travailler, pour conquérir de nouveaux marchés et permettre de préserver cette vieille viticulture traditionnelle.

Dans l'ensemble, l'économie viticole allemande a le vent en poupe et présente une très nette tendance à l'essor. La production viticole et les importations de vins de table se montaient pour l'exercice écoulé à 39,4 millions d'hectolitres, dont 16,9 millions ont à nouveau été commercialisés, un record depuis 1963. Théoriquement, on en a consommé en Allemagne 27 litres par habitant, dont 12,9 litres d'origine allemande, 9 de provenance étrangère et 5,1 litres de vin mousseux. Toutefois, cette consommation atteint jusqu'à 70% de plus par habitant en France et en Italie, 50% environ de plus au Luxembourg, en Argentine et au Portugal, et 40% de plus en Suisse, en Espagne et en Roumanie.

Dans la partie est de l'Allemagne, il ne s'agit cependant pas exclusivement d'accroître la production viticole, mais bien d'améliorer dans son ensemble la production agricole des cinq nouveaux Länder allemands. A la première Foire-exposition commerciale de l'économie agricole et alimentaire, à Cologne, plus de 100 exposants de ces régions de l'ex-RDA sont venus exposer leurs produits et y ont recueilli un très vif intérêt.

Erich Esih (IN-Press)



Un ultra-léger motorisé (ULM) « Made in Germany » en mission agricole.

(Photo: IN-Press/MBH-Reichle)

## Les causes des crues de 1987

Des crues comme celle dont les effets dans la vallée de la Reuss sont traités dans le présent numéro constituent heureusement des événements rares, propres à frapper l'imagination. Les crues de 1987 ont également touché l'Autriche et la Valteline; l'ampleur des dégâts et la volonté de tout mettre en œuvre pour en prévenir la répétition ont amené le Conseil fédéral à demander qu'en soient analysées les causes.

Le mandat spécifiait que cette analyse devait se fonder sur les connaissances scientifiques et les méthodes existantes; il ne s'agissait donc pas d'un mandat de recherche fondamentale.

Le rapport de synthèse des spécialistes mandatés a récemment été publié<sup>1</sup>. Tant leurs hypothèses de travail (voir encadré) que leurs conclusions sont des plus intéressantes, notamment sous l'angle de l'interaction homme-environnement, volontiers mise en cause lors de grandes catastrophes naturelles.

### 1987: une année néfaste

Les crues dévastatrices de 1987 ont commencé au printemps déjà: avril et mai voyaient des glissements de terrain à Wattenwil/BE, aux Ormonts/VD, dans le Turbachtal/BE et à Läuelfingen/BL.

La persistance des pluies, en juin, provoqua glissements de terrain et éboulements dans les cantons de Berne, Soleure et des Grisons. Les crues qui en résultèrent causèrent des dégâts chiffrés par millions de francs, notamment sur les rives du lac de Constance. Au début de juillet, de violents orages s'abattirent sur les cantons de Schwyz et de Berne, causant la mort de deux personnes et quelque 100 millions de francs de dommages. Les 18 et 19 juillet, ce fut le tour des Grisons et du Tessin; le bilan de ces deux journées s'éleva à quatre morts et 250 millions de francs de dégâts (on se souvient en particulier des dévastations subies par le centre de Poschiavo). Le débit du Rhin observé à Diepoldsau équivaut à celui des crues catastrophiques de 1868, et ce sont les travaux de correction entrepris à la suite de ces dernières qui ont empêché un débordement avec les mêmes conséquences.

Les intempéries des 24 et 25 août n'ont pas seulement frappé la vallée de la Reuss (où pas moins de 420 hectares de

terres cultivables furent inondées et plus de 700 bâtiments endommagés), mais également les cantons du Valais, du Tessin et des Grisons. Ce n'est que de justesse que les digues du Rhône, en Valais, ont pu empêcher des inondations de grande ampleur. Il est à noter que dans le village de Münster, dans la vallée de Conches, on a même vu un torrent de boue dévaler selon un cheminement dont l'histoire locale ne connaissait aucun précédent.

Du 25 au 27 septembre, c'est le tour du Jura, notamment dans la région du lac de Neuchâtel, où furent presque égalés les anciens maxima de précipitations pluviales.

### Et dans le passé?

L'évolution du peuplement et de la communication a peu à peu augmenté la densité d'information sur les crues exceptionnelles. Il est toutefois possible d'en estimer la fréquence, ce qui permet d'affirmer que celles de 1987 ont eu des précédents en 1342, 1480, 1511, 1566, 1570, 1640, 1834, 1839 et 1868.

La plus grande crue de notre millénaire fut sans doute celle de 1342, qui a vu l'eau arriver au portail du Fraumünster de Zurich et atteindre l'autel de la Barfüsserkirche de Lucerne! Dans les sédiments du lac d'Uri, on a trouvé des dépôts datant de la première moitié du XIV<sup>e</sup> siècle, dont le volume équivaut au quadruple de ceux des crues de 1987. Cette crue de 1342 a du reste touché toute l'Europe centrale (3 mètres d'eau au dôme de Mayence, sur le Rhin!).



Une illustration exceptionnelle de la violence d'une crue: la Zarvraga (Grisons) en crue, le 18 juillet 1987 à 16 heures (en haut) et le front de lave torrentielle déferlant 15 minutes plus tard. Le débit est estimé à 600 m<sup>3</sup>/s et la vitesse du front à 8 m/s.

(Photos T. Venzin, Truns, tirées du rapport final.)

<sup>1</sup> Analyse des causes des crues de l'année 1987 - Rapport final. Communication N° 5 de l'Office fédéral de l'économie des eaux et N° 15 du Service hydrologique et géologique national. Une brochure A4 de 48 pages, avec 39 figures et 17 photographies en couleur. Berne, 1991. Prix: Fr. 14.-; en vente auprès de l'Office fédéral des imprimés et du matériel, case postale, 3000 Berne, sous la référence 804.305 f.

### Les thèses mises en discussion

Les suppositions quant aux causes possibles des crues de 1987, émises immédiatement après l'événement, ont été formulées sous forme de thèses et soumises aux différents groupes de travail. Les réponses qui leur ont été proposées, rappelées ci-dessous, sont un reflet des discussions menées tout au long du projet, et apportent un premier élément de réponse. Les justifications de ces réponses se trouvent plus loin, dans le corps du texte.

*Thèse 1: un événement comme celui de 1987 ne s'est encore jamais produit.*

Cela est inexact. Des événements plus désastreux encore ont déjà été observés, qu'il s'agisse de pluies, de débits, du transport de matériaux ou de l'impact sur la population. Au vu de leur étendue, les crues de 1987 doivent être comptées parmi les événements très rares, sans être toutefois uniques.

*Thèse 2: la fréquence des crues importantes augmente suite au changement climatique et à la mort des forêts.*

Cette inquiétude est justifiée. Les crues de 1987 ne peuvent cependant pas être utilisées pour prouver cette thèse, car les débits importants sont apparus principalement au-dessus de la limite des forêts. Le dépérissement des forêts ne peut donc pas être retenu comme cause dans ce cas-là. La preuve d'une augmentation de la fréquence des crues due à un hypothétique changement de climat ne peut pas (pas encore?) être établie.

*Thèse 3: l'utilisation du sol déjà rare s'intensifie et la valeur des biens immobiliers ne cesse de s'accroître dans certaines zones à risque.*

Cela est tout à fait exact. Malheureusement des zones sûres ne sont pas disponibles à volonté pour satisfaire tous nos besoins. Les tentatives en vue de diminuer les risques par des ouvrages de protection ne sont pas toujours concluantes. L'homme et son économie doivent accepter un certain nombre de risques dans les zones de montagne.

*Thèse 4: la pluie acide influence la pédogenèse et l'infiltration.*

La réponse à cette question n'est pas immédiate, les différents aspects de la formation des sols n'ayant pas été examinés dans le cadre du projet. En revanche on a pu constater, dans l'Urserental, que la saturation a été atteinte, même dans des sols possédant une bonne capacité de stockage et un taux d'infiltration élevé. Une fois la saturation atteinte, la pluie ruisselait alors dans sa presque totalité. La dégradation des conditions d'infiltration pourrait favoriser la formation des crues et augmenter la fréquence des petites et moyennes crues, mais elle n'influence en fait qu'assez peu les crues extrêmes.

*Thèse 5: en cas de précipitations extrêmes, la forêt n'a qu'un effet retardateur limité sur la crue, mais augmente en revanche le danger représenté par les arbres déracinés et emportés par les eaux.*

Exact. La forêt agit sur l'écoulement, principalement par l'augmentation de la capacité de stockage des sols. Dans ce sens, tout réservoir potentiel est certes utile, mais une fois rempli, il perd de son utilité, comme ce fut le cas en 1987, à la suite des très fortes pluies. On peut alors très bien reprendre la réponse donnée à la thèse 4. Le désavantage que présente le risque de bois flottants est contrebalancé par un renforcement du sol dû aux racines (protection contre l'érosion).

*Thèse 6: des voûtages sous-dimensionnés ont été obstrués, ce qui a provoqué des débordements incontrôlés, accompagnés de dégâts.*

Exact. Des dommages mineurs en ont ainsi résulté en différents endroits, ce qui n'a cependant pas beaucoup influencé le déroulement général des événements de 1987, pas plus que le volume total des dégâts, mis à part quelques cas exceptionnels. Ce problème se pose bien davantage pour les petites crues, plus fréquentes. Il peut, dans des cas isolés, conduire à des dommages difficilement évaluables.

*Thèse 7: les drainages liés tant aux travaux d'améliorations foncières qu'à la construction de routes modifient le cheminement de l'écoulement, provoquant une augmentation imprévue des débits.*

Inexact en ce qui concerne 1987. Comme au sujet des thèses 4 et 5, cela se vérifie plutôt pour des crues moins importantes ou pour des événements très localisés.

*Thèse 8: les machines agricoles lourdes compactent le sol et le rendent moins perméable; les cultures intensives augmentent la disposition à l'écoulement de surface.*

La réponse à la thèse 4 peut encore s'appliquer ici. Il faut remarquer aussi que les régions touchées par les grandes crues de 1987 ne comportent pas de zone de cultures intensives auxquelles ces effets pourraient être imputés.

*Thèse 9: les corrections de cours d'eau (canalisation des ruisseaux, déboisement des rives) créent des conditions favorisant la formation de crues subites.*

Partiellement juste. Chaque mesure contre les inondations signifie une diminution du volume de rétention. Ce qui est avantageux pour les zones protégées l'est parfois moins en aval. D'autre part, l'utilité de la végétation des berges comme protection contre l'érosion est compensée par un risque accru d'inondation en raison de la diminution de la section transversale. Il ne faut pas perdre de vue non plus le fait que de grands arbres isolés constituent un danger sérieux, en cas de crue, en risquant de devenir du bois flottant.

*Thèse 10: c'est l'effet combiné, exceptionnel, de pluies de fortes intensités et de températures élevées qui est à l'origine de ces événements.*

Exact. Des précipitations abondantes sont tombées sur un relief très accentué, avec des bassins versants à fortes pentes, cela en période de fonte tardive de la neige. C'est la combinaison de tous ces facteurs qui a été déterminante concernant l'ampleur des dégâts, et non l'un d'eux pris isolément.

*Thèse 11: le véritable problème ne réside pas tant dans la crue que dans le transport solide.*

Cela est vrai pour des régions de montagne avec de fortes pentes naturelles. L'évacuation des volumes d'eau vers un thalweg y est techniquement aisée. Cependant une crue provoque des phénomènes d'érosion et de charriage, modifiant constamment la section du canal. Il s'ensuit que des considérations purement hydrauliques ne s'avèrent pas suffisantes. A ce sujet, on peut remarquer que des mesures de sécurité adoptées précédemment deviennent inopérantes si le cours d'eau se crée un nouveau lit.

*Thèse 12: l'accumulation lente mais continue de matières charriées dans un bassin versant est interrompue brutalement lors des crues et cette masse est transportée par paquets dans les cours d'eau. Comme ces phénomènes de transport ne se produisent qu'à de longs intervalles de temps, ils sont ressentis comme extraordinaires.*

Juste, au moins pour les torrents de montagne. Pour les rivières et les fleuves, le charriage est important même entre les crues.

*Thèse 13: les principes et les normes de dimensionnement adoptés jusqu'ici pour les ouvrages de protection ne sont pas fiables.*

Il n'en est rien, bien qu'on ne dispose toujours pas de bases suffisantes pour dimensionner les ouvrages, que ce soit dans les domaines des événements extrêmes, du transport solide ou des laves torrentielles. Pourtant de nombreux ouvrages de protection se sont révélés efficaces. Pour des raisons financières, écologiques et techniques aussi, les ouvrages ne peuvent pas être dimensionnés en fonction de l'événement le plus désastreux possible. Ils sont donc dimensionnés en fonction d'un événement dit de projet, qui ne représente pas un maximum possible absolu. Un certain risque résiduel doit finalement toujours être pris en compte.

### Causes probables ou possibles

Il faut distinguer les causes initiales – les précipitations d'une violence inaccoutumée – de celles se trouvant à l'origine des dégâts. Le rapport relève justement que le développement des infrastructures (transports, réseaux de distribution d'énergie) entraîne inévitablement une augmentation du volume de dégâts pour un phénomène donné. Aux constructeurs d'en tenir compte dans l'élaboration des mesures de protection.

Les auteurs du rapport n'excluent pas des modifications climatiques comme

facteur de la fréquence des précipitations, relevant que nous nous trouvons dans la période relativement la plus chaude depuis 10 000 ans<sup>2</sup>. On estime que le réchauffement de l'atmosphère sera d'environ 2 à 5°C au siècle prochain, ce qui pourrait conduire à une

<sup>2</sup> Cela ne correspond toutefois pas aux constatations – certes locales – selon lesquelles le climat des Alpes aurait été plus clément aux origines de la Confédération qu'il ne l'est aujourd'hui, comme en témoignent notamment les vestiges de culture de céréales sur des sites élevés où l'on ne trouve plus que des pâturages.

élévation de l'isotherme 0°C et à une plus grande proportion de pluies dans les précipitations sur les hautes Alpes, d'où une augmentation du risque de crues et de laves torrentielles, ainsi qu'un risque accru de dégâts aux infrastructures. Il faut donc admettre que nous vivons avec le risque de crues et d'éboulements aléatoires: «Le processus du modelage du paysage n'est pas achevé. L'homme n'est qu'un hôte du milieu alpin et doit se plier à ses lois.»

Jean-Pierre Weibel



Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein  
Société suisse des ingénieurs et des architectes  
Società svizzera degli ingegneri e degli architetti

### Intelligence artificielle et robotique

#### Fonds national suisse – Programme national de recherche 23, 1989-1994

Nous aimerions attirer votre attention sur certains projets consacrés à l'intelligence artificielle et à la robotique. Si ces sujets vous intéressent et si vous voulez y apporter une contribution, veuillez vous adresser à l'une des deux adresses indiquées ci-dessous.

#### Buts du PNR 23

L'intelligence artificielle (IA) ouvrira à l'informatique de nombreux domaines nouveaux et élargira sensiblement les champs d'application de la robotique. L'intelligence artificielle n'en est qu'à ses débuts en Suisse, tant au niveau de la formation que dans la pratique. De même, la robotique n'est encore que peu utilisée dans l'industrie. Dès lors, le PNR 23 se fixe les objectifs suivants:

- promouvoir l'intelligence artificielle et la robotique dans la formation et la recherche en Suisse;
- favoriser l'emploi et le perfectionnement des méthodes IA, dans la robotique en particulier;
- créer un effet de synergie en concentrant les compétences dans des projets communs;
- jeter les bases d'une participation fructueuse aux projets de recherche européens.

#### Les projets

Les projets visent surtout l'examen et le développement d'outils en IA, et plus particulièrement en robotique.

#### Vision (traitement des images)

- An Intelligent Multisensory Robot Vision System: Planning of Vision Tasks and Object Recognition Based on CAD Models (H. Bunke, Université de Berne)
- An Intelligent Multisensory Robot Vision System: Multidimensional Image Segmentation (R. Groner, Université de Berne)
- Computer Interpretation of Complex Tridimensional Scenes, with Applica-

- tion to the Visual Guidance of Industrial Robots (T. Pun, Université de Genève)
- A Real Time Vision System to Identify, Classify and Track Objects in Space (W. Guggenbühl, EPFZ)
- Design and Analysis of Spatial Image Sequences (A. Grün, EPFZ)
- Motion Vision with Self-Learning (G. Schweitzer, EPFZ)

#### Robotique

- Automatic Assembly based on Artificial Intelligence (C. W. Burckhardt, EPFL)
- Autonomous System Architecture: Application to Mobile Robot Navigation (J.-P. Müller, Université de Neuchâtel)

#### Systèmes d'apprentissage

- Intelligence Tutoring Environments (P. Mendelsohn, D. K. Schneider, Université de Genève)
- Computer Models of Human and Machine Learning (W. Perrig, Université de Bâle)
- Portable AI Lab (M. Rosner, IDSIA Lugano)

#### Réseaux neuronaux

- Evaluation of Neural Networks for Robotic Applications (J.-D. Nicoud, EPFL)
- Implementation of Learning Algorithms for Neural Networks (J. Bernasconi, ABB Baden)

#### CAD (computer aided design)

- Knowledge Representation and Acquisition for Intelligent Computer Aided Design and Construction Systems (G. Schmitt, EPFZ)

#### Systèmes d'information

Specification and Prototyping of a System for the Intelligent Management of Information (M. King, ISSCO Carouge).

#### Le groupe d'experts

Il se compose de MM. Olaf Kübler, président, EPFZ; Christoph Burckhardt, EPFL; Rüdiger Dillmann, Université de Karlsruhe; Erwin Engeler, EPFZ; Jean-Pierre Farine, GDA, Berne; Rudolf Groner, Université de Berne; Reinhold GÜth, ABB Baden; Hansjürg Mey, Université de

Berne; Christian Pellegrini, Université de Genève; Rolf Pfeifer, Université de Zurich.

#### Quelle est l'importance de l'intelligence artificielle et de la robotique pour mon entreprise?

Si l'une des questions ci-dessous vous préoccupe, un contact avec le PNR 23 vous sera précieux.

- Où en est l'application pratique des systèmes de traitement des images en robotique?
- Le montage automatique d'appareils nécessite-t-il une conception spéciale?
- Les programmes d'enseignement intelligents peuvent-ils remplacer les enseignant(e)s?
- Qu'est-ce qu'un réseau neuronal, comment l'utiliser?

N'hésitez pas à nous appeler: nous vous renseignerons volontiers.

Direction du PNR 23: W. Schaufelberger, professeur, Projektzentrum IDA/EPFZ, 8092 Zurich; tél. 01/256 41 90.

Fonds national suisse de la recherche scientifique, Wildhainweg 20, 3011 Berne; tél. 031/27 22 22.

### Normes SIA 161 et 161/1 «Constructions métalliques»

La version allemande et la version française définitives des nouvelles normes SIA 161 «Constructions métalliques» et 161/1 «Constructions métalliques – Assurance de la qualité, certificats d'exploitation, contrôles, matériaux», qui ont été approuvées par l'assemblée des délégués de la SIA le 10 novembre 1990, viennent de sortir de presse. Elles remplacent l'ancienne norme SIA 161 «Constructions métalliques», publiée en 1979, et ont été adaptées aux normes SIA 160 «Actions sur les structures porteuses» et SIA 162 «Ouvrages en béton». Les nouvelles normes tiennent compte des évolutions récentes sur le plan de la normalisation en Europe (eurocode 3 + 4) et des nouvelles connaissances acquises dans les domaines de la technologie des matériaux, des méthodes de calcul et de l'assurance de la qualité. L'ingénieur disposera désormais d'une collection de normes modernes adaptées aux autres normes SIA,