

# Réseaux d'accélérographes pour barrages

Autor(en): **Darbre, Georges R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **120 (1994)**

Heft 11

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78318>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Réseaux d'accélérographes pour barrages

Par Georges R. Darbre, Ph.D., M.S., ing. dipl. EPFZ Office fédéral de l'économie des eaux Case postale, 3001 Berne

L'obtention d'une meilleure compréhension du comportement dynamique des barrages nécessite une instrumentation sismique détaillée. Cela est plus particulièrement le cas pour l'observation des mouvements en champ libre, des mouvements effectifs le long de l'appui et des caractéristiques dynamiques des barrages et de leur réponse aux tremblements de terre de fortes intensités.

Considérant des objectifs d'acquisition d'observations spécifiques, des configurations de réseaux d'accélérographes sont établies pour les barrages-voûtes, les barrages-poids et les digues, et les spécifications requises des accélérographes et des réseaux sont développées. Quatre réseaux réalisés dans les barrages de la Grande-Dixence, de Mauvoisin, de Punt-dal-Gall et de Mattmark sont présentés.

## 1. Introduction

Un danger sismique non négligeable prévaut en Suisse, en particulier dans le Valais, la région bâloise, les Grisons et la vallée du Rhin saint-galloise [1]<sup>1</sup>. L'obtention d'une meilleure compréhension du comportement dynamique des barrages nécessite non seulement le développement et l'utilisation d'instruments d'analyse [2], mais également l'acquisition et l'interprétation d'observations permettant aux chercheurs et aux ingénieurs de mieux comprendre les phénomènes impliqués et d'étalonner les modèles analytiques et numériques. Une instrumentation sismique détaillée et des essais par excitations forcées sont nécessaires pour couvrir ces besoins d'observations, complétés par des essais de matériaux en laboratoire et éventuellement *in situ*. En parallèle, l'appréciation rapide de la sévérité de l'excitation

au site d'un barrage et du comportement du barrage et des fondations lors d'un tremblement de terre requiert une instrumentation d'alerte.

Dans cet article, les besoins d'observations lors de tremblements de terre de moyenne et grande intensité sont présentés. Les configurations de réseaux d'accélérographes en résultant sont développées au chapitre 3 et les spécifications techniques correspondantes résumées sous 4. Les installations effectuées dans quatre barrages pour un total de 29 accélérographes triaxiaux sont finalement présentées en 5 et les premières observations en 6.

## 2. Besoins d'observations

### 2.1. Mouvements en champ libre

L'évaluation du comportement futur de grands ouvrages, tels que les barrages, aux tremblements de terre nécessite généralement l'engagement de méthodes d'investigations analytiques utilisant une description temporelle d'un tremblement de terre de dimensionnement (accélérogrammes synthétiques obtenus directement ou compatibles avec un spectre de réponse de dimensionnement). La base d'observations nécessaire à

la description des caractéristiques de tels accélérogrammes est encore insuffisante (amplitudes des vibrations, durée des oscillations fortes, contenu fréquentiel, influence des conditions géologiques locales, lois et coefficients d'amortissement de propagation des ondes, etc). De telles observations en champ libre alimentent également la base de données intervenant dans la détermination de la menace sismique et permettent de calibrer les spectres de réponse de dimensionnement utilisés lors d'études préalables, d'études de comparaison et d'analyses de petits ouvrages.

### 2.2. Mouvements effectifs de l'appui

De par la nature du système barrage/fondation et en particulier de par la forme et les dimensions de la zone d'appui, différents aspects de l'interaction sol-structure peuvent contribuer de manière non négligeable à la réponse dynamique d'un barrage. Tout d'abord, la topographie de la vallée et les propriétés inertiales et de dissipation d'énergie de la fondation font que le mouvement à la surface n'est pas uniforme, et cela même en l'absence de barrage et en supposant que les ondes proviennent d'une seule direc-

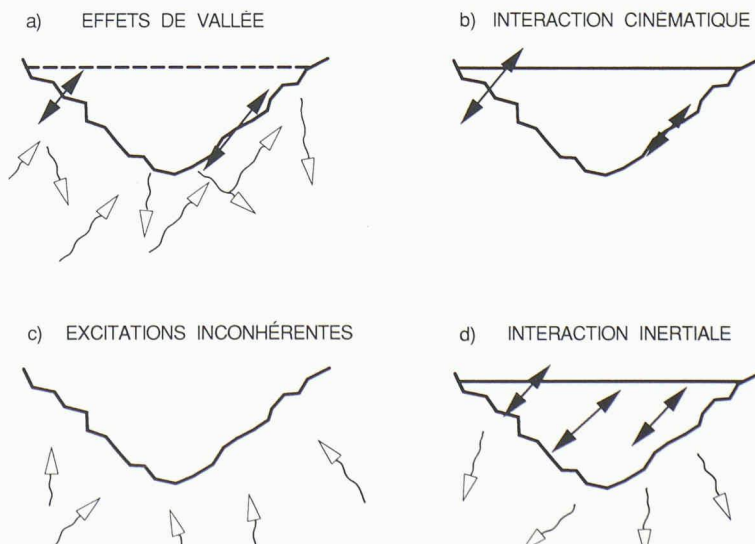


Fig. 1. - Interaction sol-structure pour barrages-voûtes

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

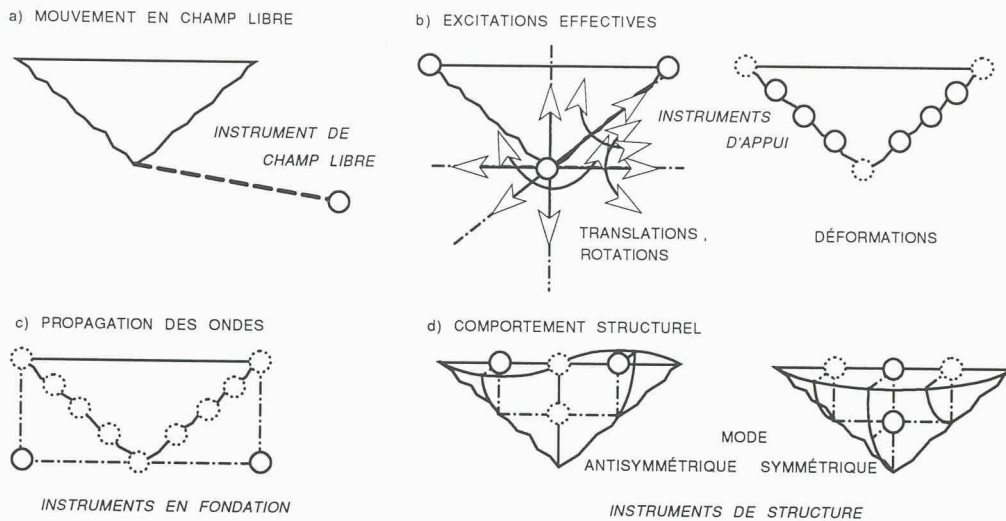


Fig.2 – Positionnement des accélérographes dans les barrages-voûtes

tion (effets de vallée, fig. 1a). Ensuite, en supposant que le barrage ne possède aucune masse, le mouvement le long de l'appui est affecté par la résistance statique que le barrage offre à une déformation (interaction cinématique, fig. 1b). De plus, l'excitation sismique provient en fait de différents trains d'ondes arrivant de directions différentes (excitations incohérentes, fig. 1c). Finalement, le mouvement le long de l'appui est affecté par la réponse inertielle du barrage (interaction inertielle, fig. 1d). Tous ces effets combinés déterminent les mouvements effectifs de la zone d'appui. L'observation de ces mouvements aux fins de compréhension des mécanismes entrant en jeu, d'étalonnage des modèles analytiques et de spécification d'excitations de dimensionnement fait encore largement défaut.

### 2.3. Caractéristiques dynamiques et réponse des barrages

Les propriétés dynamiques d'un barrage peuvent être identifiées par l'intermédiaire d'essais de vibration par excitateurs, en particulier les fréquences propres, les formes modales et la dissipation d'énergie. De tels essais sont cependant limités à des niveaux d'excitation et de réponse très bas, non représentatifs de ceux encourus lors de tremblements de terre importants. Alors que les fréquences propres et les formes modales ne devraient pas subir de variations substan-

tielles en fonction du niveau d'excitation, il n'en va pas de même de l'énergie dissipée dont une meilleure appréhension est nécessaire.

La réponse globale d'un barrage à un tremblement de terre résulte de la réponse individuelle des modes de vibration qu'il convient d'observer.

### 2.4. Autres aspects

Une instrumentation par accélérographes appropriée permet de comparer le comportement d'un barrage lors d'un tremblement de terre avec celui prédit lors du dimensionnement, ainsi que d'anticiper son comportement lors d'excitations plus sévères. Elle peut également être bénéfique dans l'établissement d'un programme de réparation lorsque le barrage a subi des dégâts et servir de support à la recherche de dégâts non apparents au premier abord [3, 4]. Les besoins d'observations présentés ci-dessus peuvent être couverts par des accélérographes placés dans le barrage ou dans ses environs immédiats. Une telle instrumentation n'est cependant pas suffisante pour apprécier d'autres aspects, en particulier ceux énumérés ci-après [5, 6].

Comportement inélastique

– Les inélasticités se développent généralement en des endroits localisés, difficilement identifiables avec précision à l'avance. Leur observation n'est donc pas aisée, à l'exception de celles apparaissant

sant en des joints ou autres singularités structurelles.

Interaction réservoir-barrage

– L'interaction d'un barrage et de l'eau du réservoir par le biais de la pression hydrodynamique dépend de la compressibilité de l'eau, de la dissipation d'énergie des ondes acoustiques au fond du réservoir, de l'étendue de celui-ci et des mouvements d'excitation et de leur contenu fréquentiel. Une observation systématique permettant l'étalonnage des modèles analytiques ainsi que l'appréciation de l'importance réelle de la compressibilité de l'eau dans le phénomène d'interaction fait encore défaut. Celle-ci nécessiterait la mise en place de capteurs de pression le long du parement amont et au fond du réservoir, ainsi que d'accélérographes au fond du réservoir (à intervalles réguliers, selon des coupes transversales verticales par exemple).

Effets de vallée

– Les effets de vallée pourraient être observés directement par l'instrumentation en champ libre de coupes verticales perpendiculaires à l'axe de la vallée.

Digues

– Une bonne compréhension de la réponse des digues aux tremblements de terre nécessite également l'observation de la variation des pressions interstitielles pendant et après le tremblement de terre.

### 3. Configurations de réseaux

Ces objectifs d'acquisition d'observations conduisent à des configurations de réseaux d'accélérographes qui sont fonction du type de barrage instrumenté. Elles sont établies ci-dessous en postulant l'installation d'accélérographes triaxiaux.



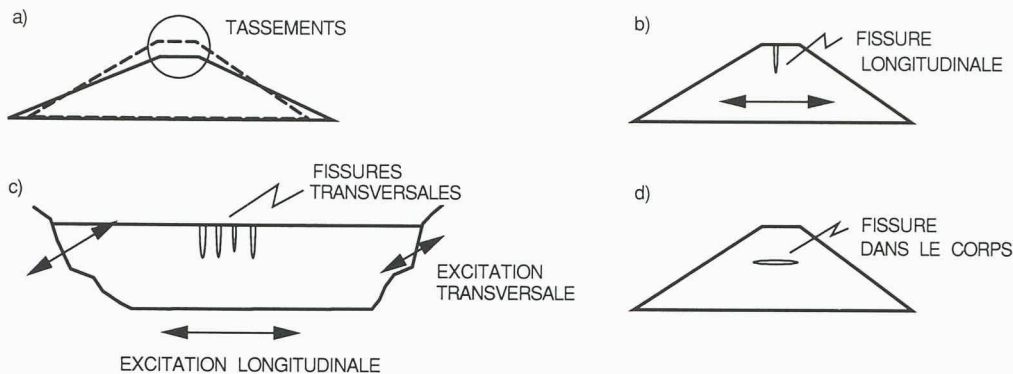


Fig. 5. - Déformations permanentes et fissures dans les digues

citation effective à la base et pour réponse tridimensionnelle), les aspects suivants étant, de plus, pertinents aux digues.

#### Tassements

- Les tassements peuvent entraîner une diminution inacceptable de la revanche (fig. 5a). L'observation de leur développement temporel lors d'un tremblement de terre est souhaitable.

#### Fissures

- Des fissures longitudinales (associées à de fortes oscillations latérales, fig. 5b), des fissures transversales (associées à de fortes oscillations longitudinales ou à une excitation transversale asynchrone, fig. 5c) et des fissures dans le corps de la digue (fig. 5d) peuvent se produire lors de tremblements de terre, toute

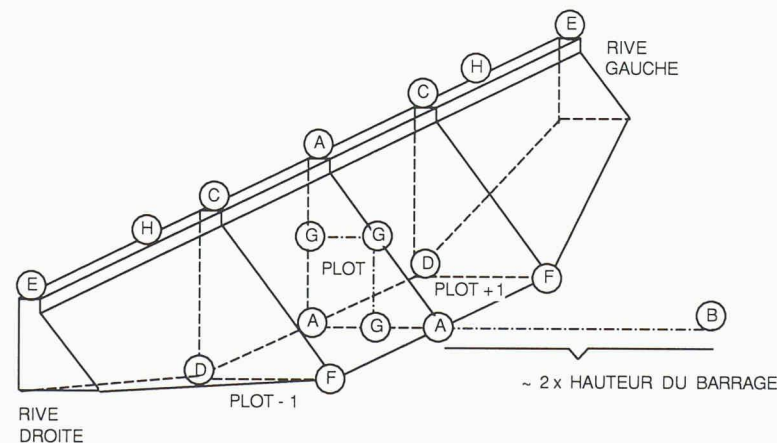
fissure pouvant en outre conduire à une érosion interne (en particulier les fissures dans le corps). Une observation directe simple de leur développement n'est pas possible, bien que cela soit souhaitable.

#### Schémas d'instrumentation

- Les schémas d'instrumentation des digues (fig. 6) sont en partie tirés des travaux de Fedock [8]. Une instrumentation absolument minimale consiste à placer des instruments à un point latéral de l'appui et au milieu de la digue au niveau du couronnement, pour obtenir ainsi des informations sur l'excitation et la réponse de la digue (schéma A).

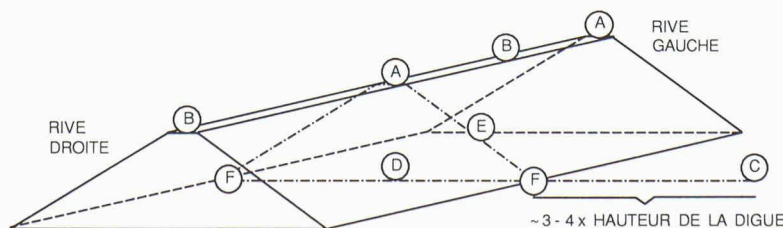
L'instrument de couronnement permet également de suivre le développement des tassements. Cette instrumentation peut être complétée par celle du schéma B, à l'aide de laquelle la variation de l'excitation d'une rive à l'autre et la différence en réponses d'une section à l'autre peuvent être étudiés (instrument à un point quart). Des informations plus détaillées sur l'excitation et la réponse sont obtenues par les schémas D et E, respectivement, et par le schéma F pour l'excitation effective à la base (section centrale). Le schéma C fournit l'excitation de référence en champ libre, à une distance de trois à quatre fois la hauteur de la digue (une distance égale à la période du premier mode de vibration de la digue, multipliée par la vitesse de propagation des ondes de cisaillement dans la fondation est également proposée par Fedock [8]).

L'instrumentation peut être complétée par des capteurs enterrés dans la digue, en premier lieu dans la section centrale.



- A: excitation et réponse du plot central, minimum (3 instruments)
- +B: + mouvement en champ libre (+1 instrument)
- +C: + réponse des plots voisins (+2 instruments)
- +D: + excitation des plots voisins, limité (+2 instruments)
- +E: + mouvement des rives (+2 instruments)
- +F: + excitation des plots voisins par rotation, complément (+2 instruments)
- +G: + réponse détaillée du plot central, complément (+3 instruments)
- +H: + réponse tridimensionnelle, complément à A&E (+2 instruments aux points quarts)

Fig. 4. - Configurations de réseaux d'accélérographes pour barrages-poids



- A: mouvement de rive et réponse de la digue, minimum absolu (2 instruments)
- A+B: mouvement de rive et réponse de la digue, minimum (4 instruments)
- +C: + mouvement en champ libre (+1 instrument)
- +D: + excitation à la base (+1 instrument)
- +E: + réponse complémentaire de la digue (+1 instrument à mi-hauteur)
- +F: + excitation détaillée à la base (+2 instruments, remplacent D)

Fig. 6. - Configurations de réseaux d'accélérographes pour digues

(A suivre)