

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 120 (1994)
Heft: 11

Artikel: Réseaux d'accélérographes pour barrages
Autor: Darbre, Georges R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78318>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

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

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]¹. 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-

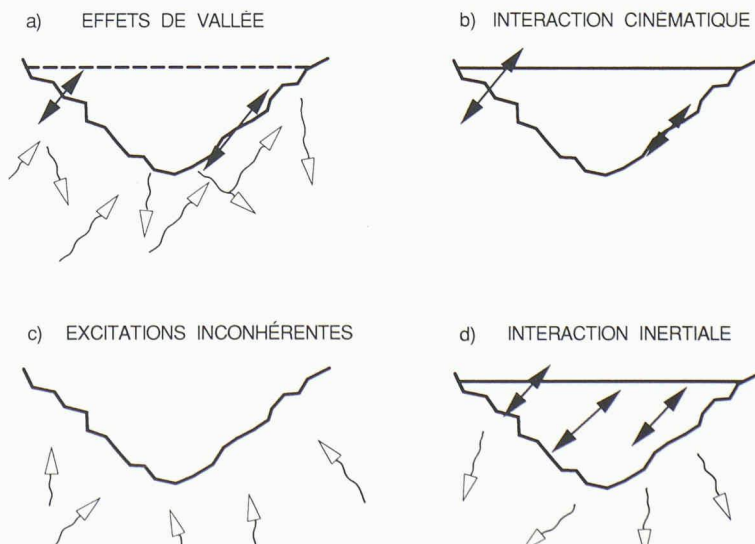


Fig. 1. - Interaction sol-structure pour barrages-voûtes

¹ Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

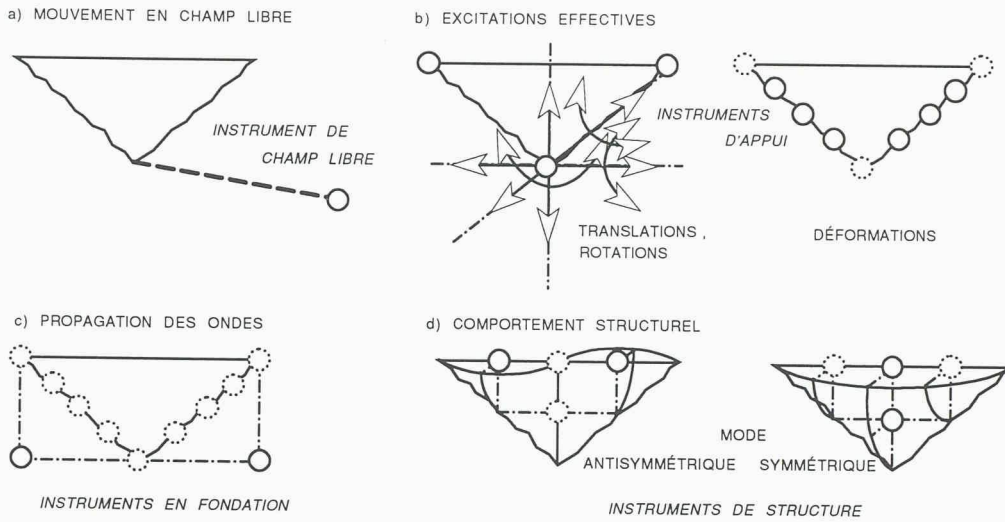


Fig.2 – Positionnement des accélérographes dans les barrages-voûtes

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.

3.1. Barrages-voûtes

Instrument de champ libre (fig. 2a)

- L'instrument de champ libre doit être placé assez loin du barrage et des structures annexes afin que leurs vibrations n'affectent pas les mouvements enregistrés, et en même temps assez proche pour que ce mouvement soit représentatif de celui du site. D'après Fok et Chopra [7], une distance égale à deux fois la hauteur de l'ouvrage est appropriée pour les barrages en béton, qui peut être réduite à une fois lorsque le module d'élasticité de la fondation est égal ou supérieur à celui du béton.

Instruments d'appui (fig. 2b)

- Les mouvements effectifs de la zone d'appui sont mesurés à l'aide d'instruments installés le long de la surface de contact barrage-fondation. S'ils sont placés en nombre suffisant, ils permettent d'obtenir les déformations le long de l'appui en plus de ses mouvements rigides (translations et rotations).

Instruments en fondation (fig. 2c)

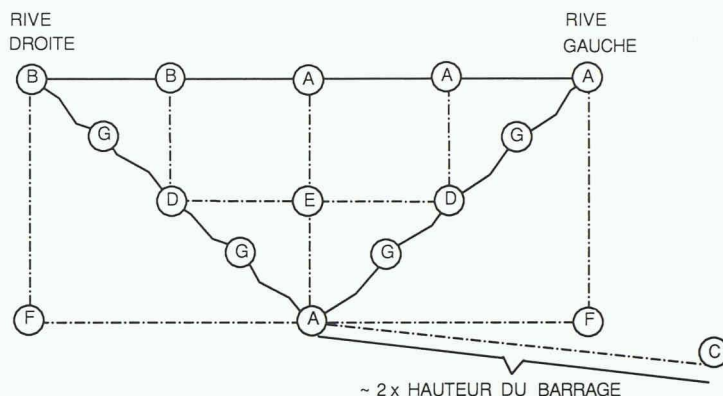
- La propagation des ondes dans la fondation peut être appréhendée par des instruments installés dans des galeries de reconnaissance ou d'injection.

Instruments de structure (fig. 2d)

- La réponse du barrage peut être mesurée de manière globale sur la base d'une décomposition modale. Les instruments au couronnement sont placés aux déformations modales maximales (milieu et points quarts de la développée pour les barrages essentiellement symétriques). Ainsi, la réponse des modes de vibration inférieurs est bien captée.

Schémas d'instrumentation

- Les schémas d'instrumentation de la figure 3 résultent de cette systématique. Une



- A: excitation et réponse, minimum (4 instruments)
- +B: + complément de l'excitation et de la réponse (+2 instruments)
- +C: + mouvement en champ libre (+1 instrument)
- +D: + excitation effective, complément (+2 instruments)
- +E: + réponse détaillée, complément (1 instrument)
- +F: + propagation des ondes (+2 instruments)
- +G: + excitation effective détaillée, complément (+4 instruments)

Fig. 3. - Configurations de réseaux d'accélérographes pour barrages-voûtes (vue de l'aval)

observation minimale de l'excitation et de la réponse est donnée par le schéma A, complété par les schémas B et E pour une observation plus détaillée. L'excitation effective le long de l'appui est analysée par les schémas D et G (complémentaires aux schémas A et B). La présence de galeries dans la fondation permet l'observation de la propagation des ondes (schéma F). Quant au schéma C, il fournit le mouvement de référence en champ libre.

Les instruments sont placés par rapport à une grille rectangulaire fictive, afin de permettre une corrélation entre les enregistrements.

3.2. Barrages-poids

Les barrages-poids sont généralement conçus et analysés en supposant que les plots se comportent de manière indépendante les uns des autres. L'instrumentation est en conséquence concentrée au plot central / plot le plus haut. Trois objectifs d'observations sont plus particulièrement applicables aux barrages-poids, en plus de ceux d'instrumentations en champ libre et de structure décrits pour les barrages-voûtes.

Excitation à la base

- La variation du mouvement à travers le pied peut être d'autant plus substantielle que le barrage est grand. L'excitation effective correspondante à la base devrait être observée.

Réponse tridimensionnelle

- Une réponse tridimensionnelle est attendue lors d'excitations longitudinales, lorsque le barrage est construit dans une vallée étroite, et lors d'excitations transversales lorsqu'il est pourvu de clés de cisaillement.

Comportement indépendant des plots

- La mesure dans laquelle les plots ont un comportement indépendant peut être appréciée par comparaison de leurs mouvements.

Schémas d'instrumentation

- Une observation minimale de l'excitation et du comportement est obtenue par le schéma A de la figure 4, complété par le schéma G pour une observation plus détaillée. L'étendue du comportement indépendant de plots voisins est analysée par les schémas C, D et F, alors que l'observation de la variation de l'excitation à travers la vallée se fait par le schéma E. Enfin, le schéma H permet d'apprécier la réponse tridimensionnelle du barrage (instruments aux points quarts), alors que B fournit le mouvement de référence en champ libre.

3.3. Digues

Le comportement des digues s'apparente à celui des barrages-poids.

Un concept d'instrumentation similaire est applicable (instruments en champ libre, pour l'ex-

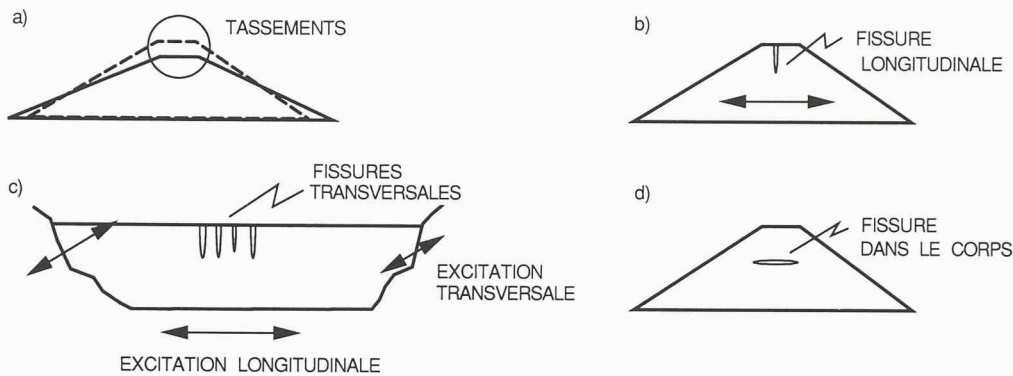


Fig. 5. - Déformations permanentes et fissures dans les digues

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

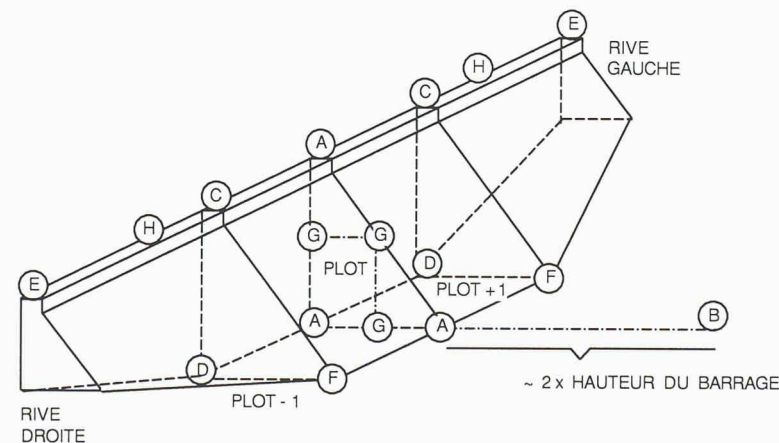
fissure pouvant en outre conduire à une érosion interne (en particulier les fissures dans le corps). Une observation directe simple de leur développement n'est pas possible, bien que cela soit souhaitable.

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).

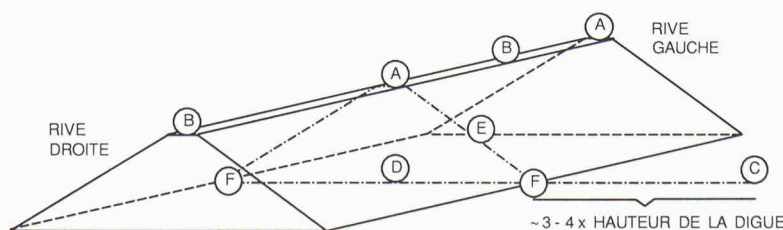
L'instrument de couronnement permet également de suivre le développement des tassements. Cette instrumentation peut être complétée par celle du schéma B, à l'aide de laquelle la variation de l'excitation d'une rive à l'autre et la différence en réponses d'une section à l'autre peuvent être étudiés (instrument 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)