

Hausses submersibles et fusibles Hydroplus

Claude Bessière

Directeur
Société d'Etudes et d'Equipements d'Entreprises

Le procédé Hydroplus est un système simple, robuste et sûr permettant, dans le cadre du contrôle des crues par un barrage existant ou à construire, d'augmenter soit le volume de stockage utile, soit la capacité du déversoir de surface, soit les deux, sans changer la cote des plus hautes eaux exceptionnelles, ni le niveau de la crête du barrage.

1. Principe et description des hausses fusibles Hydroplus

Les hausses sont constituées par une série d'éléments indépendants, posés les uns à côté des autres sur un seuil déversant, et dont la stabilité est assurée uniquement par gravité.

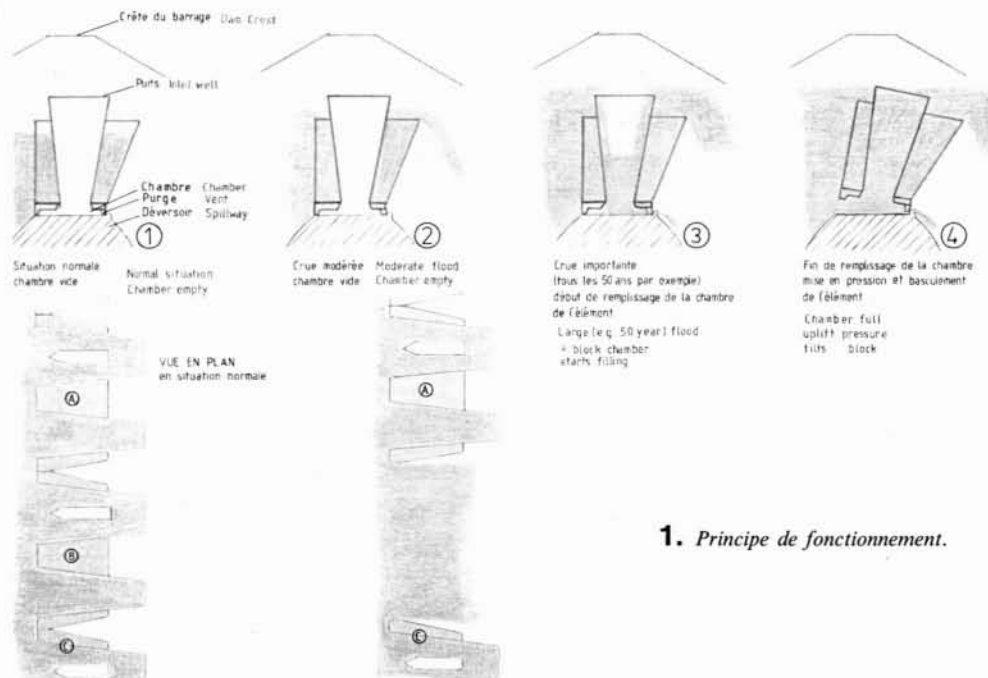
Ces éléments sont submersibles pour les crues modérées, leur forme en labyrinthe permettant d'améliorer les perfor-

mances hydrauliques du seuil.

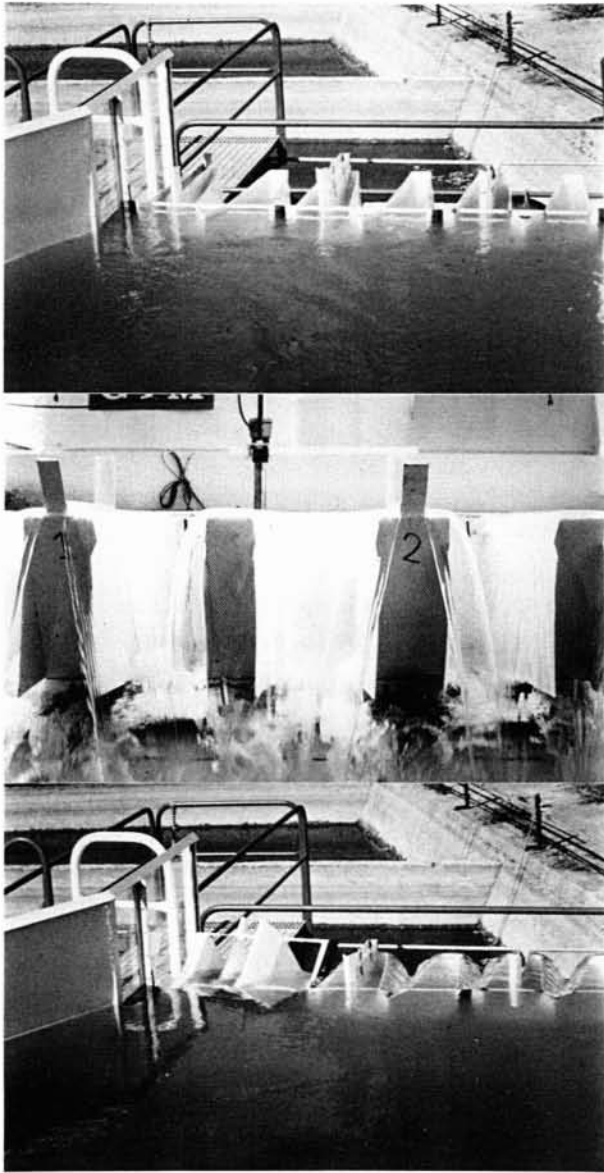
Pour des crues exceptionnelles, ils basculent automatiquement autour d'une butée aval, le nombre d'éléments s'effaçant pour une crue donnée étant adapté aux hydrogrammes des différentes crues à prévoir.

Chaque élément est simplement posé sur un cadre scellé dans le seuil déversant, il est constitué de 3 parties (voir *fig. 1* — Principe de fonctionnement) :

- une partie supérieure en tôle d'acier ou en béton armé réalisée suivant un tracé en labyrinthe et permettant l'écoulement de crues modérées sous une faible hauteur déversante ;
- une chambre inférieure généralement en béton armé, qui peut être mise en sous pression pour un niveau amont déterminé et différent suivant chaque élément ;
- un dispositif de mise en sous-pression de la chambre inférieure constitué par un puits alimenté pour une cote précise du réservoir.

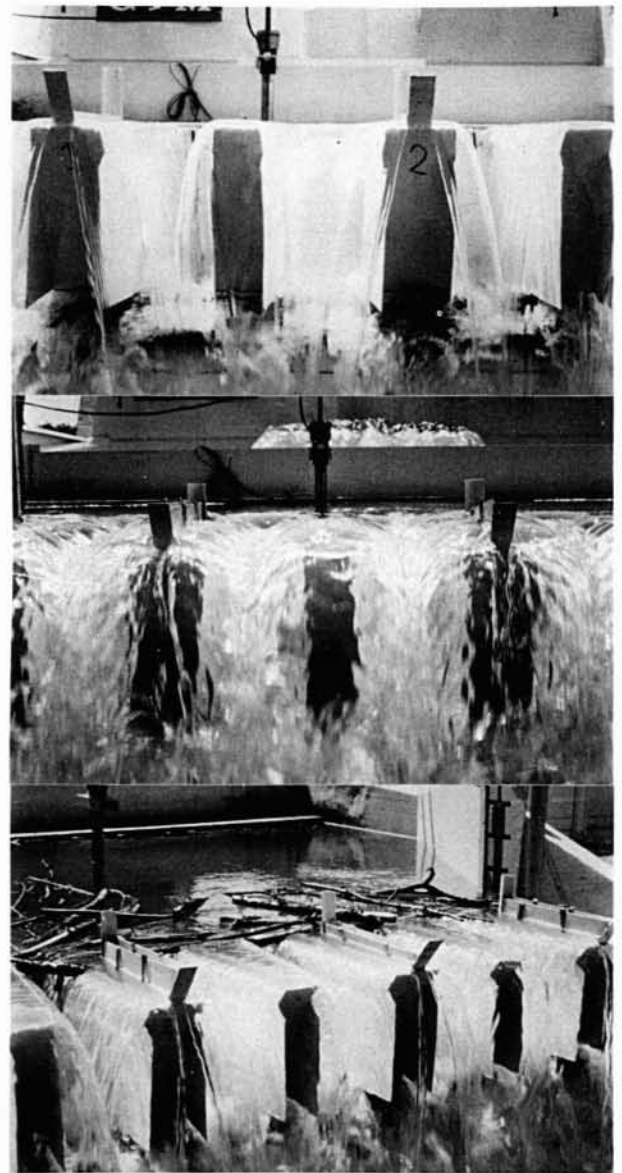


1. Principe de fonctionnement.



2. Fonctionnement des hausses fusibles.

- a) Comme un barrage.
- b) Comme un déversoir.
- c) Comme un fusible.



3. Ecoulement sur les hausses avant basculement.

- a) Pour des débits faibles ou modérés.
- b) Pour des débits importants.
- c) Avec des corps flottants.

Suivant le niveau de la retenue, l'élément de hausse fusible reposant sur le seuil déversant fonctionne (voir *fig. 2*) :

- comme un barrage tant que le niveau amont est inférieur à la cote supérieure d'arase des hausses ;
- comme un déversoir quand le niveau d'eau est compris entre la cote d'arase des hausses et la cote de réglage entraînant le basculement ;
- comme une digue fusible quand le niveau atteint la cote de basculement fixée.

Dans les deux premiers cas, la hausse est dimensionnée pour être stable très largement et conserver sa stabilité même en cas de vandalisme ou d'incident. Ses conditions de stabilité sont analogues à celles d'un barrage poids bien drainé.

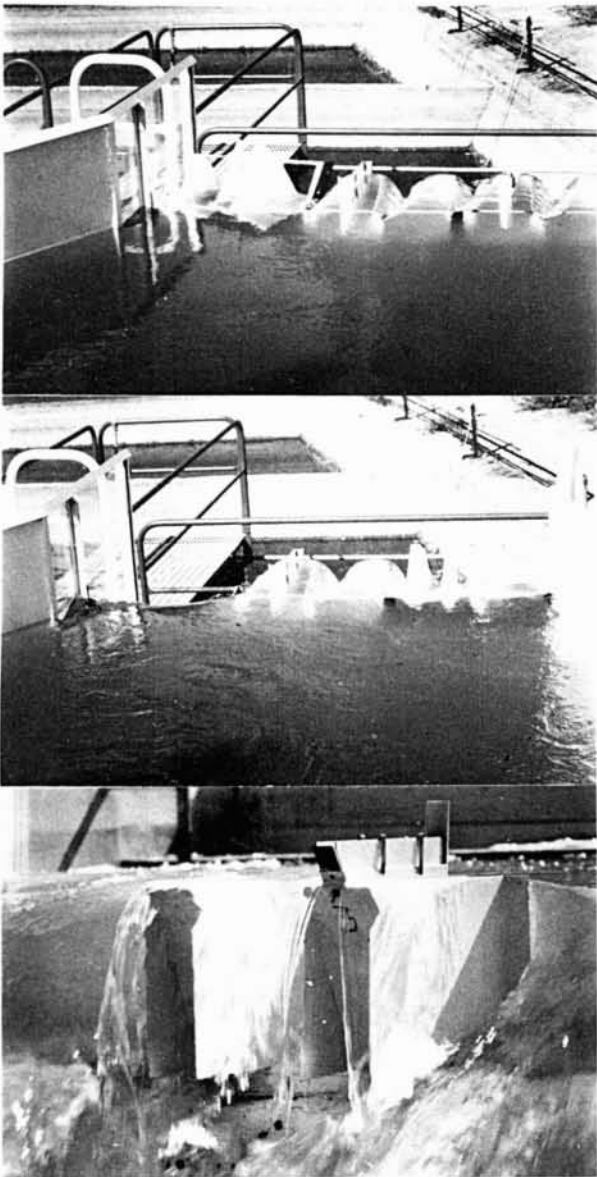
1.1. Ecoulement sur les hausses avant basculement

Le tracé en labyrinthe de la partie supérieure des hausses permet de multiplier par 3 environ la longueur de déversement.

Pour des débits faibles ou modérés le coefficient de débit n'est pratiquement pas modifié par rapport à celui d'un déversoir en lame mince.

Pour des débits importants, la convergence entre les jets réduit ce coefficient de débit progressivement en fonction de la hauteur de la lame déversante.

Par contre, la présence de corps flottants ne modifie pratiquement pas les conditions d'écoulement (voir *fig. 3*). Ceci permet dans la plupart des cas de faire passer des crues inférieures à la crue de 50 ou même 100 ans, sans avoir besoin de faire basculer un élément de hausse.



4. Basculement d'un élément (avec 3 hausses).

- a) Basculement en premier de l'élément de gauche.
- b) Basculement en second de l'élément de droite.
- c) Ecoulement de part et d'autre de l'élément central restant.

Lorsque la cote désirée provoquant l'effet fusible est atteinte, le basculement est obtenu par rotation autour de la butée aval, sous l'effet de l'introduction de la sous-pression dans la chambre située sous la hausse. Le dispositif est extrêmement précis (de l'ordre du centimètre sur le niveau de la retenue) et donne une grande marge de stabilité tant que le niveau du réservoir est inférieur à la cote de basculement.

Après passage d'une crue exceptionnelle, il suffit de replacer sur le seuil le ou les éléments ayant basculé ou de les remplacer par des éléments identiques s'ils ont été sérieusement endommagés.

Le comportement des hausses en déversoir et le basculement ont fait l'objet de nombreuses études théoriques et essais sur modèles réduits réalisés par GTM et par le Laboratoire national d'hydraulique (LNH).

1.2. Basculement d'un élément

Les essais ont montré que le basculement était provoqué avec une grande précision par le réglage du puits permettant d'introduire la sous-pression dans la chambre sous les hausses.

La grande stabilité des éléments avant l'alimentation du puits et la forme de ce puits rendent le niveau de basculement des éléments peu sensible à l'action des corps flottants ou des vagues.

Les actions de vandalisme (en particulier visant à boucher les puits) ne peuvent entraîner que des inconvénients mineurs soit sur l'étanchéité (facile à réparer) soit sur la précision de basculement.

Même en cas d'obturation totale des puits, la sécurité du barrage est assurée puisque le basculement des hausses aura lieu, sans mise en sous-pression de la chambre pour une cote de réservoir plus élevée qu'en cas d'apparition de la sous-pression mais restant inférieure à la cote de crête de barrage. Cette sécurité, donnée par le dimensionnement et les calculs, a été vérifiée par les essais de Marolles et de Chatou.

On pourrait envisager de récupérer les éléments ayant basculé, mais le coût des dispositifs nécessaires serait plus élevé que le coût de remplacement de quelques éléments partiels.

Enfin des essais ont montré que les éléments ayant basculés ne peuvent rester sur le coursier des évacuateurs parce qu'ils ne sont pas stables après renversement pour des vitesses d'écoulement supérieures à 3 m/s.

En outre, tous les essais ont prouvé que le basculement d'un élément peut être provoqué sans entraîner les éléments voisins (voir fig. 4).

1.3. Influence sur les conditions d'écoulement

1.3.1. Sur le coursier du déversoir

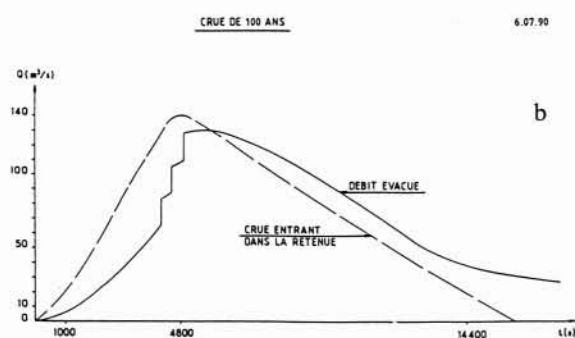
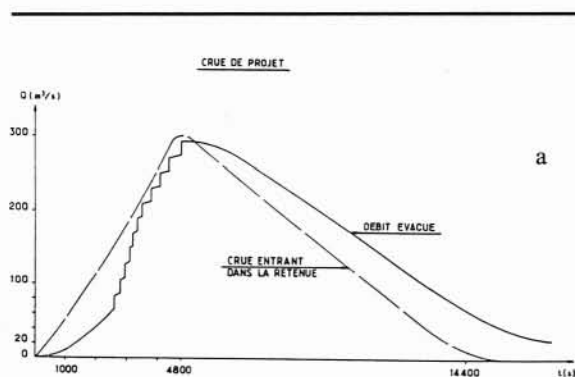
Les hausses Hydroplus permettent d'aérer considérablement la lame déversante, non seulement pour les crues modérées mais également pour la plupart des crues exceptionnelles car on prévoit le basculement en premier d'éléments non adjacents.

Cette aération permet de réduire les risques d'érosion du coursier du barrage par rapport aux déversoirs habituels.

1.3.2. A l'aval

La figure 5 (page suiv.) montre la courbe d'évolution du débit à l'aval en fonction du temps en cas d'une crue modérée sans basculement de hausse et en cas d'une crue exceptionnelle avec 3 basculements de hausses.

Le basculement de chaque élément entraîne une discontinuité de débit mais celle-ci, qui est similaire au phénomène d'ouverture partielle d'une vanne, ne se produit que lorsque la rivière a déjà atteint un débit important de l'ordre du tiers de son débit maximal, c'est-à-dire une hauteur d'eau de l'ordre de 60 % de sa hauteur maximale.



5. Débit restitué à l'aval.

- a) Sans basculement.
- b) Crue exceptionnelle (avec 3 basculements).

La discontinuité de débit n'entraîne donc que des discontinuités du niveau aval de l'ordre de 10 à 20 cm qui s'atténuent très rapidement lorsque l'on s'éloigne du barrage.

La décrue naturelle en cas de basculement est prolongée par la vidange de la tranche d'eau correspondant aux hausses.

1.4. Fabrication, surveillance et entretien

L'optimisation et la vérification des éléments de hausse demandant des études et des essais sur modèle relativement complexes concernant le fonctionnement hydraulique, la stabilité dans les différents cas de charge et en fonction des conditions particulières, les étanchéités, les liaisons entre le seuil et les éléments, les réglages divers..., les éléments de hauteur faible ou moyenne seront standardisés.

Cette standardisation et l'utilisation de la préfabrication, tant pour la structure métallique que pour la chambre inférieure, permettent des délais d'exécution très courts.

Pour des éléments de hauteur importante et pour les grands ouvrages, le délai d'étude et d'exécution sera un peu plus long, mais l'intervention sur place restera généralement inférieure à 2 mois, y compris l'adaptation du seuil.

Après mise en place des hausses, comme elles ne comprennent ni éléments mécaniques ni éléments électriques, on peut se passer entièrement d'entretien. Il est cependant préférable d'enlever les corps flottants restés dans les hausses après une crue importante et de vérifier avec une périodicité de quelques années qu'il n'y a pas d'obturation des puits ou des purges susceptibles de réduire la précision de fonctionnement.

En ce qui concerne la structure métallique, on peut prévoir suivant les cas de sur-épaissir la structure pour compenser la corrosion ou bien d'assurer une protection extérieure par galvanisation ou par peinture.

En cas de basculement, la standardisation des éléments permet un remplacement rapide des éléments basculés. On peut même prévoir le stockage sur place d'un ou deux éléments de rechange.

2. Applications aux différents types de barrage

Les hausses Hydroplus mises en place sur des seuils libres déversants permettent soit d'augmenter la capacité du déversoir, soit d'augmenter le volume utile de la retenue, soit de faire les deux à la fois.

2.1. Augmentation de la capacité des déversoirs

Le contrôle des crues est un élément essentiel du coût et de la sécurité des barrages. Il représente directement ou indirectement (surveillance et entretien des vannes, eau perdue en cas de seuil libre) environ le tiers du coût moyen des ouvrages.

Par ailleurs, le caractère très aléatoire des crues de projet conduit souvent de fait soit à un sur-dimensionnement coûteux des ouvrages, soit à un sous-dimensionnement du déversoir sans que l'on sache trop bien dans quelle situation on se trouve, sauf pour les grands bassins versants.

Enfin, le dysfonctionnement des vannes est l'une des causes principales de rupture des barrages qui en sont équipés et peut parfois survenir pour des crues non exceptionnelles.

Sur certains sites on a utilisé pour résoudre ces problèmes des digues fusibles conçues pour être détruites pour des crues exceptionnelles de périodes de retour de l'ordre de 100 à 500 ans. Cette solution qui peut être économique n'est applicable qu'à un nombre réduit d'ouvrages ou nécessite des modifications importantes du projet.

Le système Hydroplus, basé sur le principe des digues fusibles, peut s'appliquer facilement à la plupart des barrages existants à seuil libre et dans presque tous les projets de barrages futurs vannés ou non, en présentant les mêmes avantages que les digues fusibles sans leurs inconvénients.

Dans la conception d'un seuil équipé de hausses Hydroplus, le projeteur dispose de trois paramètres :

- la cote du seuil à laquelle sont mises en place les hausses (cote finale du seuil à construire ou cote du seuil existant après dérasement) ;
- la hauteur des hausses ;



6. Le barrage de Lussas en Ardèche.

— la cote du réservoir correspondant au basculement du premier élément de hausses et l'échelonnement des différents basculements.

Le premier paramètre, à longueur de seuil égale et à cote des plus hautes eaux exceptionnelles inchangée, permet d'augmenter la capacité maximale du déversoir.

Les deux autres paramètres permettent de régulariser les débits restitués à l'aval et d'éviter l'inconvénient majeur des digues fusibles qui est la création d'une augmentation rapide et considérable du débit aval, ce dernier pouvant même dépasser de beaucoup les débits de la crue entrante.

Pour des barrages nouveaux, l'utilisation de hausses fusibles Hydroplus permettra de raccourcir le seuil déversant, ce qui rend plus facile son implantation.

Pour un certain nombre de grands déversoirs futurs, il semble intéressant de combiner l'utilisation de hausses fusibles avec des vannes assurant par exemple 10 à 40 % de la crue de projet.

2.2. Augmentation du volume utile de la retenue

Les trois mêmes paramètres permettent au concepteur d'envisager une augmentation du volume utile de la retenue.

Pour des ouvrages existants, cette augmentation dépend des bénéfices attendus du barrage.

Si l'ouvrage n'est pas destiné à écrêter les crues de manière sensible, il sera possible de remonter la cote de retenue normale d'une hauteur égale à environ 75 % de la hauteur maximale de la lame d'eau déversant sur le seuil.

Ce dernier sera dérasé d'une hauteur égale à 10 à 15 % de cette lame d'eau maximale si on n'a pas besoin d'augmenter sa capacité.

La hauteur des hausses sera donc légèrement inférieure à la lame d'eau maximale déversante et égale à environ 85 à 90 % de cette dernière.

Si l'ouvrage est très écrêteur de crues et s'il permet en outre un stockage inter-annuel, le gain sur la cote de

retenue normale devra être plus faible et pourra être de l'ordre de 30 à 50 % de la hauteur maximale de la lame déversante afin d'éviter de majorer beaucoup le débit maximal de crue restitué à l'aval qui restera de toutes façons inférieur à la pointe de crue entrante.

Le seuil sera dérasé sur une hauteur de l'ordre de 20 à 25 % de la hauteur maximale de la lame déversante, ce qui conduira à des hausses d'une hauteur comprise entre 50 et 75 % de celle-ci.

On notera enfin que dans de nombreux cas, il peut être intéressant tant au point de vue économique que politique d'assurer les deux fonctions à la fois.

3. Les réalisations et développements possibles

Ce procédé a été mis au point et essayé sur modèle en 1990.

Un premier barrage a été équipé en France, entre mars et mai 1991, le barrage de Lussas en Ardèche (voir fig. 6).

Cinq à six autres applications sont en cours ou devraient être réalisées d'ici la fin de l'année 1991, toujours en France.

Dans notre pays, on peut estimer qu'il serait possible d'équiper entre 50 et 100 barrages importants avec des hausses et à peu près autant d'ouvrages moins notables, ce qui devrait permettre globalement d'augmenter la capacité de stockage dans les réservoirs d'un volume d'environ 200 millions de m³.

Cependant, le débit des seuils libres est généralement inférieur à 500 m³/s et les volumes à gagner en France représentent moins de 1 % des volumes à gagner dans le monde. Les premières réalisations pour des débits très importants sont donc prévues à l'étranger à partir de 1992.

Les possibilités de standardisation et la vitesse de réalisation devraient permettre un développement du nombre d'applications dans de nombreux pays, aussi bien pour des barrages existants que pour des ouvrages futurs, ce qui justifie l'investissement initial d'études et d'essais de l'ordre de 10 millions de francs.