

Dimensionnement de micro-barrages en béton et calcul de leur stabilité au renversement

Étude de cas pour des microbarrages en dérivation sur le projet « micro-périmètres irrigués » à Manakara (Madagascar)

Charles Pernin*
Septembre 2003

Introduction

La stabilité globale d'un barrage se décline en 3 composantes :

1. stabilité au glissement

Sous l'effet de la poussée de l'eau, le barrage tend à glisser sur sa base. C'est le poids de l'ouvrage et son ancrage — fer dans le cas d'un soubassement rocheux, semelle et fondations sur sol meuble — qui empêchent le glissement.

2. Stabilité au poinçonnement (pour les ouvrages sur sol meuble). Dans le cas des ouvrages sur sol meuble, semelle et fondations doivent être dimensionnées pour que l'ouvrage ne s'enfonce pas sous son propre poids.

3. Stabilité au renversement : sous l'effet de la poussée de l'eau, l'ouvrage tend à basculer vers l'avant (mouvement de rotation autour du pied aval). C'est le poids de l'ouvrage qui s'oppose à cet effet de renversement.

On ne s'intéressera ici qu'aux règles de dimensionnement qui garantissent la **stabilité au renversement**. *Il conviendra donc de s'assurer également que l'ouvrage n'est pas susceptible de s'enfoncer, ni de glisser.*

AVIS IMPORTANT

Les fiches et récits d'expériences « Pratiques » sont diffusés dans le cadre du réseau d'échanges d'idées et de méthodes entre les ONG signataires de la « charte Inter Aide ».

Il est important de souligner que ces fiches ne sont pas normatives et ne prétendent en aucun cas « dire ce qu'il faudrait faire »; elles se contentent de présenter des expériences qui ont donné des résultats intéressants dans le contexte où elles ont été menées.

Les auteurs de « Pratiques » ne voient aucun inconvénient, au contraire, à ce que ces fiches soient reproduites à la condition expresse que les informations qu'elles contiennent soient données intégralement y compris cet avis .

* Charles Pernin est responsable du projet d'APPUI AUX GROUPEMENTS DE PAYSANS POUR LA REHABILITATION ET LA PERENNISATION DE MICRO – PERIMETRES IRRIGUES RIZICOLES mené par Inter Aide à Manakara, Madagascar.



A. Dimensionnement Pratique des micro-barrages sur le projet

1/ Méthode pratique de dimensionnement

Le calcul permettant de s'assurer de la stabilité au renversement d'un ouvrage est systématiquement réalisé sur le projet de Manakara afin de vérifier que le barrage à construire sera stable. Pour cela, on considère qu'**il faut que le moment stabilisateur de l'ouvrage soit au moins deux fois supérieur au moment de renversement.**

En pratique, on peut également montrer qu'un **microbarrage-déversoir trapézoïdal dont la grande base est égale à la hauteur et la petite base égale à 0.25 m garantit largement la stabilité au renversement.** On dispose ainsi d'une règle approximative qui permet d'estimer très rapidement le gabarit d'un ouvrage, connaissant la hauteur nécessaire pour alimenter la prise d'eau (cote).

Cette règle conduit cependant à de légers surdimensionnements.

2/ Limites du calcul de stabilité au renversement : les mesures prises dans la conception des ouvrages.

Le calcul de stabilité au renversement fait intervenir la hauteur de la lame d'eau déversant au dessus de l'ouvrage, elle même fonction du débit du cours d'eau. Pour garantir la stabilité de l'ouvrage, y compris dans des cas extrêmes, on devrait théoriquement estimer les débits de crue décennale ou centennale et en déduire la hauteur d'eau maximale au dessus du déversoir. Sur le projet MPI de Manakara, nous ne disposons d'aucune donnée hydrologique et retenons donc des estimations subjectives.

Afin de sécuriser les ouvrages et limiter la poussée lors des fortes crues, il est intéressant de **prévoir une vanne de chasse dans le corps du déversoir.** Il s'agit d'un orifice que l'on verrouille avec une série de madriers quand le débit du cours d'eau est faible et que l'on ouvre en cas de crue pour « délester » l'ouvrage.

Ce dispositif ne protège efficacement le barrage que si les usagers sont suffisamment organisés et responsabilisés pour l'utiliser au moment opportun ! Cette vanne peut en tous cas s'avérer très utile pour vidanger le barrage et effectuer des travaux d'entretien sur le déversoir ou le canal de dérivation.

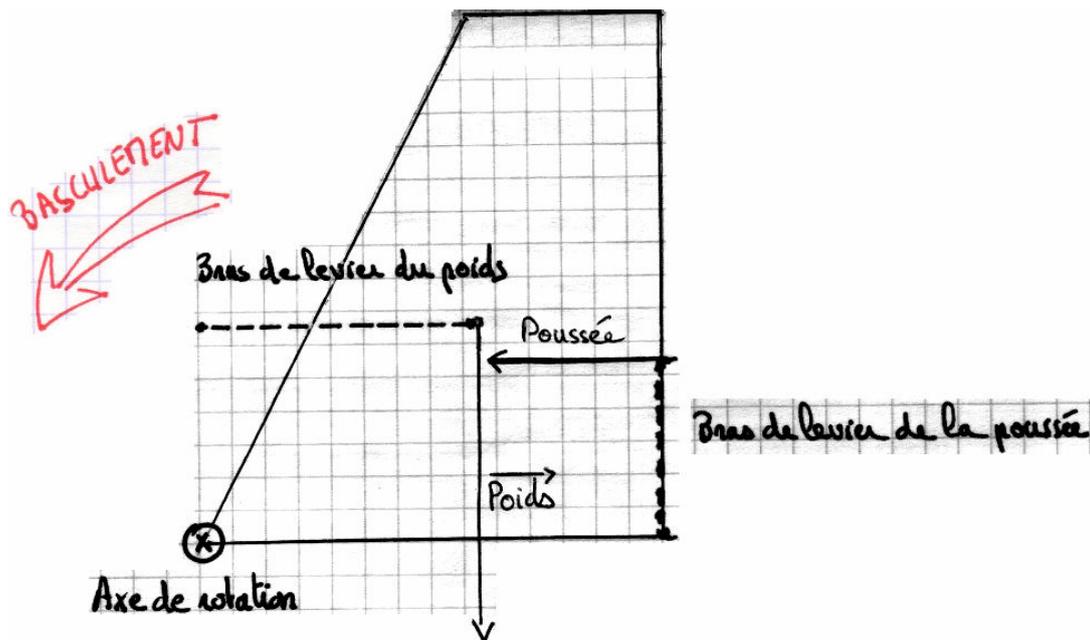


B. Calcul de la stabilité au renversement

1) Analyse de la tendance au basculement :

Le barrage est soumis à

- la force de poussée de l'eau qui entraîne un mouvement de rotation autour du pied aval ;
- son propre poids qui tend à le stabiliser en s'opposant à cette rotation.



Comme tout mouvement de rotation, le renversement de l'ouvrage est déterminé par le moment des forces, c'est à dire le produit des forces par leur bras de levier :

$$m_{\text{poids}} = \text{moment du poids} = \text{poids} * \text{bras de levier du poids}$$

$$m_{\text{poussée}} = \text{moment de la poussée} = \text{poussée} * \text{bras de levier de la poussée}$$

Théoriquement, l'ouvrage est en équilibre si : $m_{\text{poids}} = m_{\text{poussée}}$

En pratique, on applique un *coefficient de sécurité* et on considère que l'ouvrage est stable si

$$m_{\text{poids}} = 2 * m_{\text{poussée}}$$

Etudier la stabilité au renversement d'un barrage revient donc à comparer le moment stabilisateur (moment du poids) et le moment de renversement (moment de la poussée de l'eau).



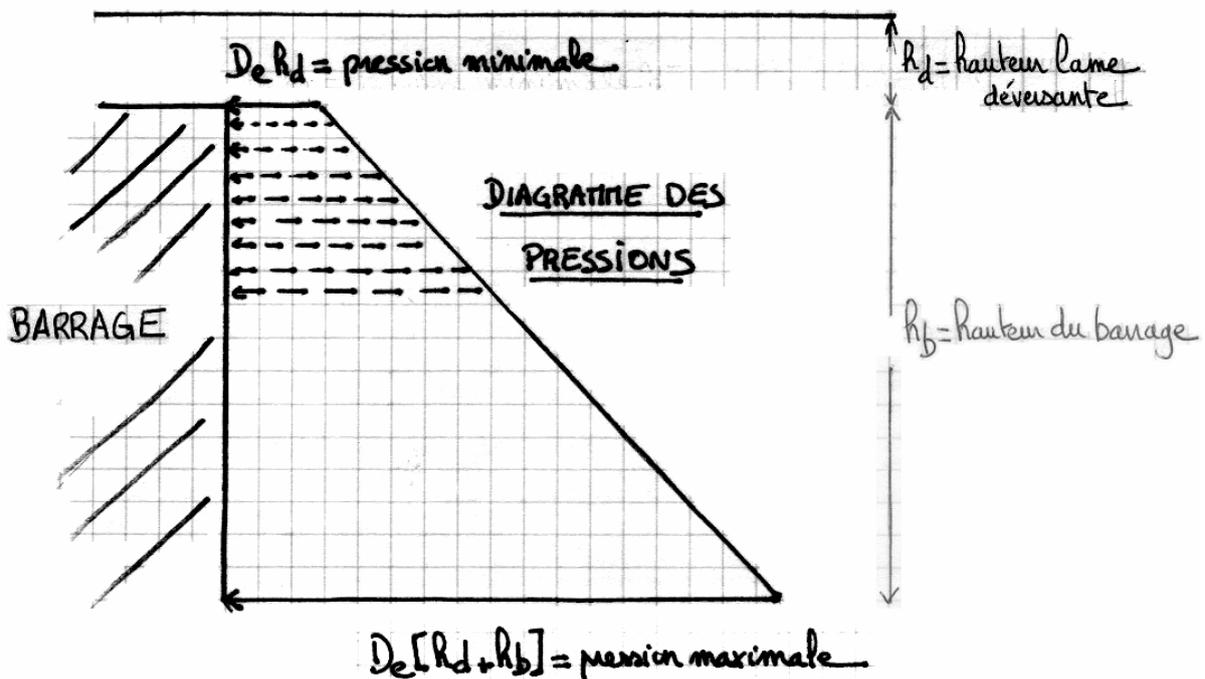
2. Calcul du moment de la poussée de l'eau

a) Calcul de l'intensité de la poussée

En chaque point du mur amont du barrage, l'eau exerce une pression perpendiculaire à la surface de ce mur. Cette pression croît proportionnellement à la profondeur selon la loi

$$P = D_e \cdot h \quad (D_e = 1000 \text{ kg / m}^3)$$

D_e : Densité de l'eau (kg / m^3), ; h : Profondeur (m)



L'ensemble des pressions représentées dans le diagramme des pressions dessine un trapèze rectangle.

La force de poussée est la résultante (l'intégrale) de l'ensemble de ces forces de pression et est égale à l'aire de ce trapèze rectangle

$$Q = h_b \frac{D_e(h_d + h_b + h_d)}{2} \quad \Rightarrow \quad Q = D_e \cdot h_b \cdot (h_d + \frac{h_b}{2})$$

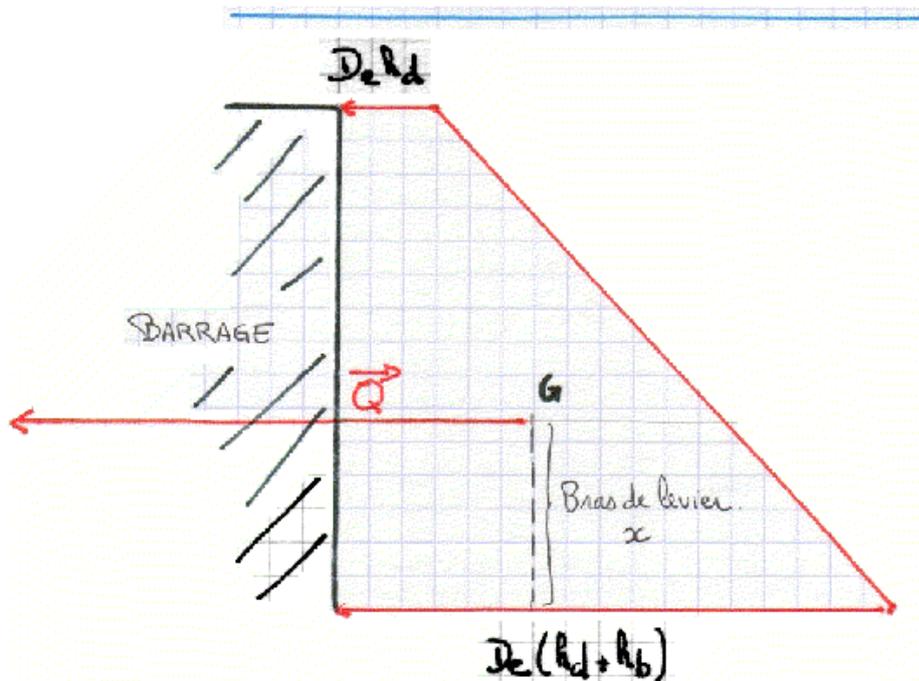
Remarques :

- ☞ La poussée est fonction du carré de la hauteur du barrage. En simplifiant, multiplier la hauteur d'un ouvrage par 2, revient à quadrupler la poussée qu'il subit.
- ☞ La hauteur de lame déversante h_d varie en fonction du débit du cours d'eau. Pour le dimensionnement, on doit retenir des valeurs défavorables correspondant aux fortes crues. Dans la pratique, nous ne disposons d'aucune donnée sur les débits de crue et retenons des estimations subjectives.



b) détermination du point d'application

Pour calculer x , le bras de levier de la poussée, il faut connaître son point d'application. Il se situe au centre de gravité du diagramme des pressions, c'est à dire du trapèze rectangle délimité par les pressions minimale et maximale.



D'après le calcul du barycentre d'un trapèze rectangle (cf. annexe 1)

$$x = \frac{h_b}{3} \cdot \frac{2h_d + h_d + h_b}{h_d + h_d + h_b} \quad \Rightarrow \quad x = \frac{h_b(h_d + \frac{h_b}{3})}{2h_d + h_b}$$

c) Moment de renversement

Le moment de renversement (de la poussée de l'eau) est donc :

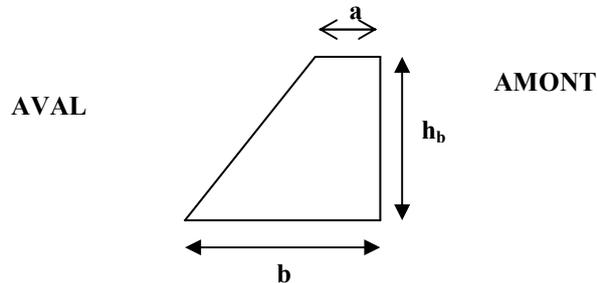
$$m_{\text{renv}} = Q \cdot x \quad (\text{kg.m})$$



3. Calcul du moment du poids du barrage

a) calcul de l'intensité du poids

Le calcul sera fait pour une longueur de 1 mètre d'un barrage de section « trapèze rectangle » :



a est la petite base, **b** la grande base

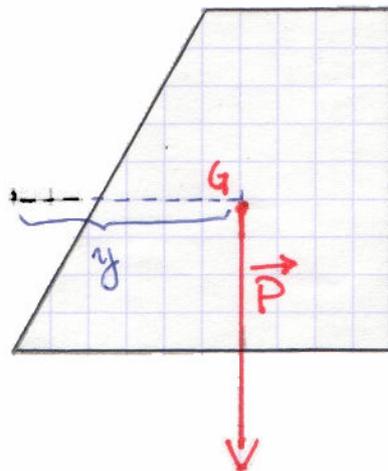
On note D_b la masse volumique (densité) du béton que l'on exprime en kg/m^3

La surface de la section est $S = \frac{(a+b)}{2} \cdot h_b$ et le poids d'un mètre de barrage est donc

$$P = D_b \cdot \frac{h_b(a+b)}{2}$$

b) Calcul du bras de levier du poids :

Le poids s'applique au centre de gravité du barrage :



y est le bras de levier du poids. On a $y = \frac{1}{3} \left[2(b-a) + \frac{a(a+2b)}{b+a} \right]$

(d'après annexe sur calcul du barycentre d'un trapèze rectangle)

d) Moment de stabilisation

Le moment de stabilisation est donc : $m_{stab} = P \cdot y$ (kg.m)



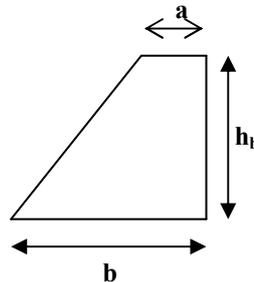
C. Exemple de calcul:

Exemple : Stabilité au renversement du barrage d'Ampasimalemy

$$a = 0.25 \text{ m}$$

$$b = 0.8 \text{ m}$$

$$h_b = 0.8 \text{ m}$$



$$D_b = 2250 \text{ Kg/m}^3$$

La densité du béton dépend du dosage en ciment et des matériaux employés. On peut retenir des estimations théoriques — 2500 kg/m³ pour un dosage à 350 kg de ciment par exemple — en leur appliquant un coefficient de sécurité. Néanmoins, il peut être intéressant d'effectuer des mesures de la densité du béton réellement mis en œuvre sur les chantiers.

1. Moment de renversement

Vu les caractéristiques du cours d'eau (régime normal, surface d'étalement de crue) et la possibilité d'évacuer la crue via une vanne de chasse, on considérera que dans les cas les plus défavorables, h_d = hauteur de lame déversante = 0.2 m

$$\text{Donc Intensité de la poussée de l'eau} \quad Q = 1000 \cdot 0,8 \cdot (0,2 + 0,8/2) = 800 \cdot 0,6 = 480 \text{ kg}$$

$$\text{Le bras de levier est } x = \frac{h_b(h_d + \frac{h_b}{3})}{2h_d + h_b} = 0.311 \text{ m}$$

$$\text{Donc le moment de renversement est } \mathcal{M}_{renv} = 480 \cdot 0.311 = 149.3 \text{ kg.m}$$

2. Moment de stabilisation :

$$\text{Poids du barrage : } P = D_b \cdot \frac{h_b(a+b)}{2} = 945 \text{ kg}$$

$$\text{Le bras de levier du poids est } y = \frac{1}{3} \left[2(b-a) + \frac{a(a+2b)}{b+a} \right] = 0.51 \text{ m}$$

$$\text{Donc le moment de stabilisation } = \mathcal{M}_{stab} = 945 \cdot 0.51 = 485 \text{ kg.m}$$

Le rapport $\mathcal{M}_{renv} / \mathcal{M}_{stab} = 485 / 149.3 \approx 3,25 > 2$ **Donc l'ouvrage est stable.**



Annexe 1 (manuscrite) : **Calcul du barycentre d'un trapèze rectangle**

Annexe 2 : **Exemple de calcul sur tableur** (sur demande).

Si l'on est amené à concevoir de nombreux ouvrages, il peut être intéressant de réaliser sous tableur un outil informatique simple permettant de vérifier rapidement ce critère. L'annexe présente un fichier de ce type où l'utilisateur saisit les dimensions de l'ouvrage (hauteur, grande et petite bases) et vérifie immédiatement si la condition de stabilité est respectée.

Bibliographie :

Mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux, Ministère de la Coopération, République Française

Mémento microhydraulique, Ministère de la production agricole et de la réforme agraire, Janvier 1985, République Malgache.

Génie Civil, AICF, Paris 1995

Technique des petits barrages en Afrique sahéenne et équatoriale, CEMAGREF, 1999

Les bas fonds en Afrique tropicale humide, *P. Lavigne Delville (Gret) & L. Boucher (AFVP)* ; collection LE POINT SUR. Coopération Française/CTA/GRET, 1996.

Les chemins de l'eau, *H. Dupriez, P. de Leener*, Terre et Vie/CTA/Harmattan/Enda ; 1990

