

DIMENSIONNEMENT DES BARRAGES

1) INTRODUCTION:

La détermination de la capacité d'un barrage passe par le calcul des différents volumes qui le caractérisent. Ces derniers ne sont déterminés qu'après avoir délimité sur cartes topographique ou carte d'état-major le bassin versant au droit du site et la limite supérieure de la cuvette.

Chaque volume a un niveau caractéristique, à savoir:

- Niveau du volume Mort NVM
- Niveau Normal de la Retenue NNR ou NVU
- Niveau Forcé Maximum ou Niveau des plus Hautes Eaux: NFM ou NPHE
- Niveau de crête de la retenue NCR

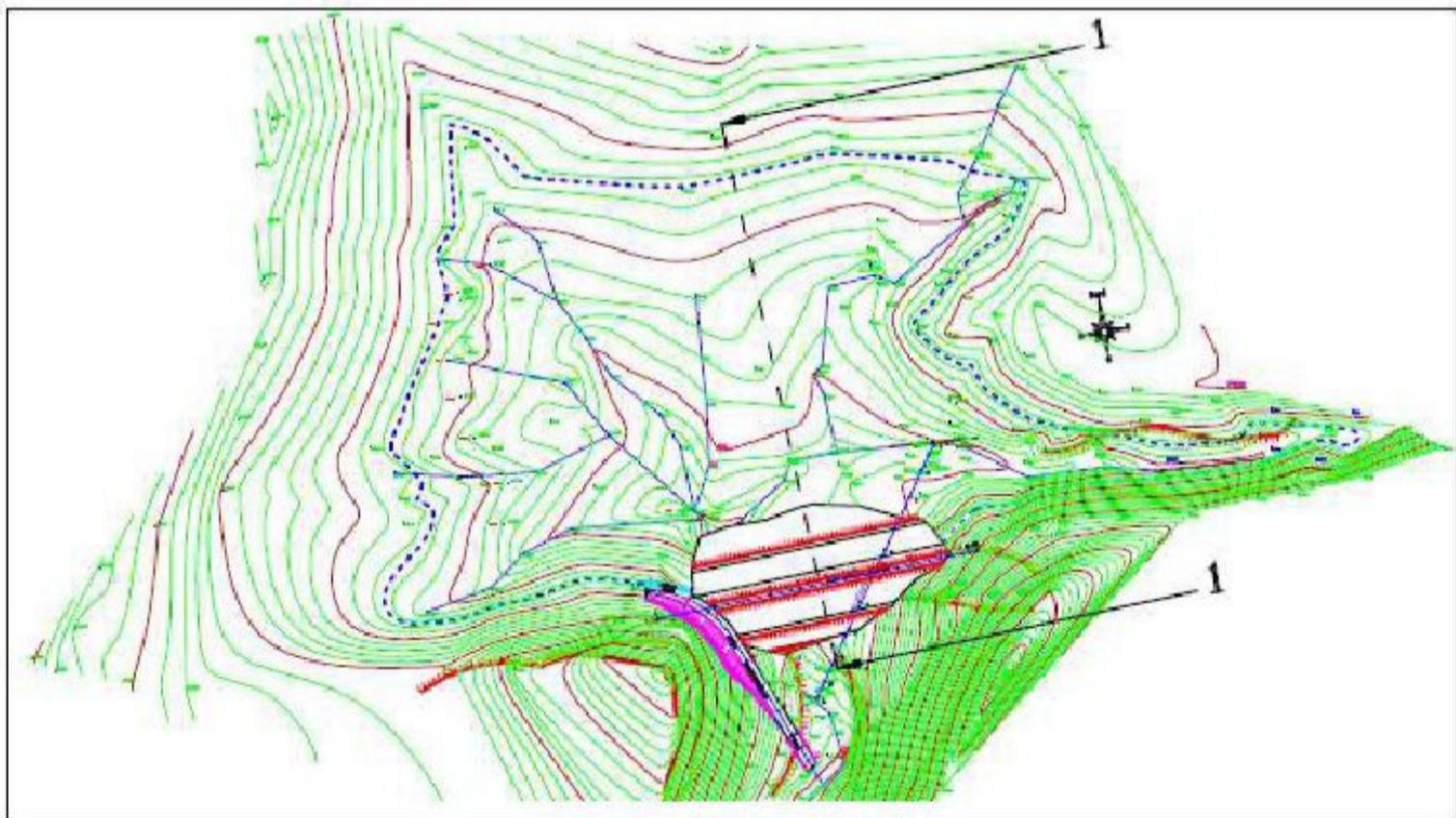


Figure 01: Vue en plan du barrage

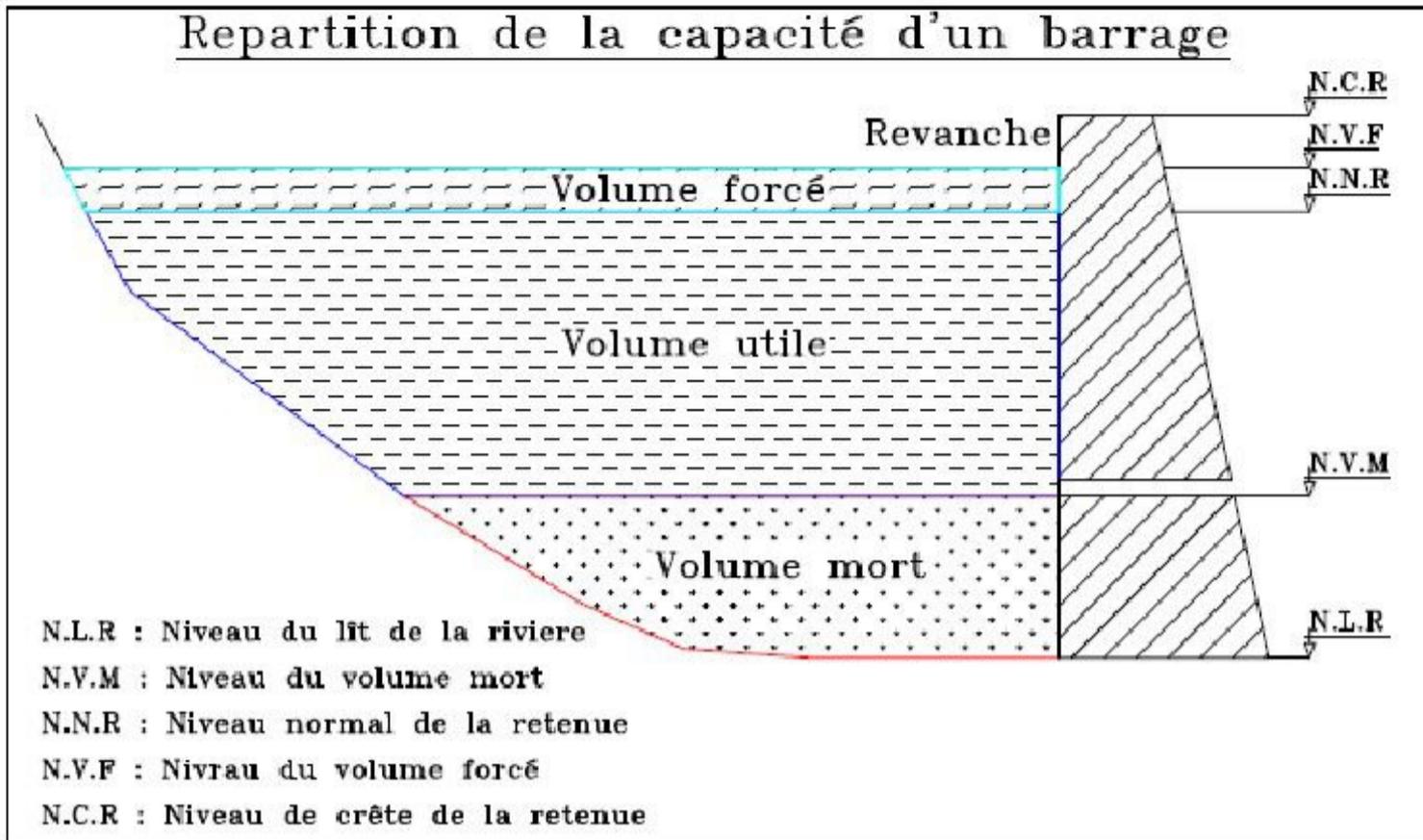


Figure 02: Coupe longitudinale

- 1-1) **Niveau du lit de la rivière NLR** : C'est le niveau du fond de la cuvette qui est celui du lit d'Oued (donnée topographique).
- 1-2) **Niveau du Volume Mort NVM** : C'est le plus bas niveau d'eau dans une retenue. Il est destiné à être rempli par les matériaux en suspension et charriés par l'Oued. C'est à son niveau que la vidange de fond est implantée. Cette dernière sert aussi bien pour la vidange de la retenue que pour chasser la vase lors des crues.
- 1-3) **Niveau Normal de la Retenue NNR** : Le volume normal de la retenue correspond au niveau de la retenue remplie. La capacité à la côte NNR est égale à la somme du volume mort et du volume utile (pertes comprises). La capacité utile est le volume destiné à satisfaire la consommation.
- 1-4) **Niveau Forcé Maximum NFM ou NVF ou NPHE**
Ce niveau est observé seulement pendant la période de l'évacuation des crues. Il ne doit jamais être dépassé. Le volume est évacué par l'évacuateur de crues.

1-5) Niveau de crête de la Retenue NCR

Ce niveau est déterminé après avoir calculé les différents volumes de la retenue et en ajoutant une certaine réserve au-dessus du niveau statique qu'on appellera REVANCHE. Dans le calcul de la revanche, il est tenu compte de la hauteur de déferlement des vagues et du tassement de l'ouvrage dans le temps.

2- COURBES CARACTERISTIQUES D'UN BARRAGE

Un barrage établi en travers d'un cours d'eau crée un remous c'est-à-dire une surélévation du plan d'eau au-dessus du niveau naturel. Ce remous s'étend sur une certaine longueur en amont du barrage, au-delà de laquelle le plan d'eau rejoint le niveau naturel. La capacité du barrage dépend essentiellement de la topographie et est déterminée par des méthodes simples. Deux courbes caractéristiques nécessaires au dimensionnement, à savoir:

- Courbe des surfaces submergées $S=f(H)$
- Courbe des volumes d'eau dans le lac $V=f(H)$

2-1) Courbe des surfaces submergées

Pour le tracé de cette courbe, il faut disposer d'un levé topographique du site et de la cuvette à échelle 1/2000, 1/1000 ou 1/500.

Pour chaque côte, la surface correspondante est planimétrée ou mesurée (Figure 03) et reportée sur un graphe (Figure 06).

2-2) Courbe des volumes d'eau dans le lac

Pour une différence d'altitude connue, les différents volumes d'eau dans le lac sont calculés:

$$H_1 \rightarrow \Delta v_1 = v_1 \quad H_1 \rightarrow v_1$$

$$H_2 \rightarrow v_2 \quad H_2 \rightarrow v_1 + \Delta v_2 = v_2$$

$$H_3 \rightarrow v_3 \quad H_3 \rightarrow v_2 + \Delta v_3 = v_3$$

$$H_n \rightarrow v_n \quad H_n \rightarrow v_{n-1} + \Delta v_n = v_n$$



Figure 3: vue en plan de la cuvette

Il existe deux méthodes pour la détermination du volume élémentaire.

□ 1^{ère} méthode

Le volume élémentaire compris entre 2 courbes de niveau consécutives est

$$\Delta v_i = \frac{S_{i-1} + S_i}{2} \cdot \Delta H$$

ΔH : Différence d'altitude entre 2 courbes de niveau consécutives,
 H_{i-1} et H_i .

S_i : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i .

S_{i-1} : Surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i-1} .

Le volume initial est pris égal à:

$$V_1 = 2/3 S_1 \cdot \Delta H_1$$

Ce volume se trouve près du lite de l'oued.

Le volume statique (V), à partir de la courbe de niveau initiale jusqu'à la côte H est la somme des volumes élémentaire V_i .

1^{er} volume $V_1 = \Delta V_1 = 2/3 S_1 \cdot \Delta H_1$

2^{ème} volume $V_2 = \Delta V_1 + \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right) \cdot \Delta H_2$

$$3^{\text{ème}} \text{ volume } V_3 = V_2 + \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \cdot \Delta H_3$$

$$m^{\text{ème}} \text{ volume } V_m = V_{a-1} + \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) \cdot \Delta H_a$$

Ce $m^{\text{ème}}$ volume est le volume total de la retenue et correspond à la hauteur du barrage.

2^{ème} méthode

Cette méthode est utilisée surtout pour les reliefs accidentés à la condition que le rapport S_1/S_2 soit supérieur à 1,5

Le volume initial est pris égal au volume d'une pyramide régulière:

$$V_1 = S_1 \cdot \frac{H_1}{3}$$

Au fur et à mesure que la hauteur augmente, la pyramide devient irrégulière et la formule adoptée est:

$$V_2 = V_1 + \Delta V_{2,1}; \Delta V_{2,1} = \frac{\Delta H_{2,1}}{3} \cdot (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}) \text{ et } \Delta H_{2,1} = H_2 - H_1$$

$$V_3 = V_2 + \Delta V_{3,2}; \Delta V_{3,2} = \frac{\Delta H_{3,2}}{3} \cdot (S_1 + S_2 + \sqrt{S_2 \cdot S_3})$$

$$V_n = V_{n-1} + \Delta V_{n,n-1}; \Delta V_{n,n-1} = \frac{\Delta H_{n,n-1}}{3} \cdot (S_1 + S_2 + \sqrt{S_{n-1} \cdot S_n})$$

Une fois V_1, V_2, \dots, V_i calculés, le graphe $V=f(H)$ est tracé (Figure 4).

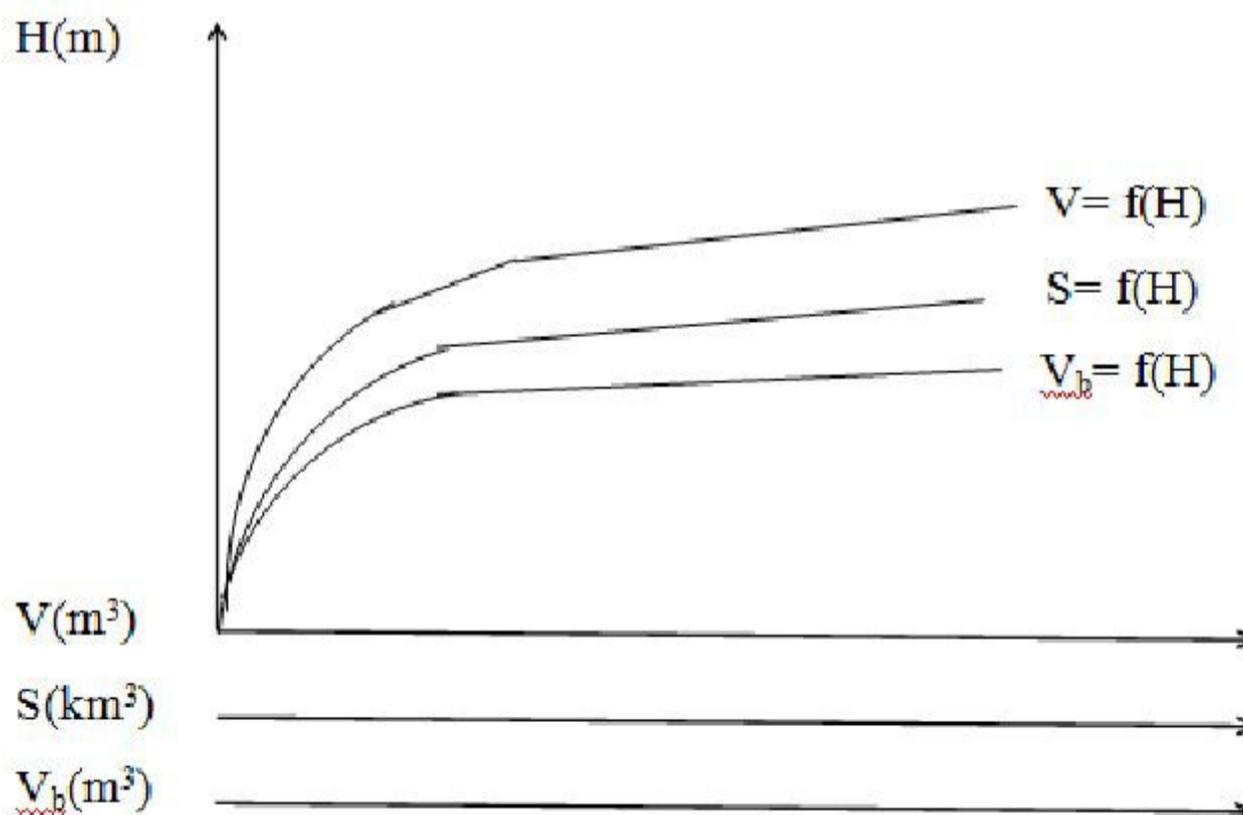


Figure 4: courbes caractéristiques

3- CALCUL DU VOLUME MORT

Le volume mort est un volume constant qui ne participe pas à la régularisation des débits. Il doit répondre à certaines conditions:

- Accumulation des matériaux solides dans la retenue;
- Garantir une certaine dénivelée nécessaire au-dessus de la surface à irriguer;
- Garantir certaines conditions sanitaires nécessaires à la pisciculture si cela est possible.

Il existe plusieurs formules pour le calcul du volume mort.

La méthode liée à l'érosion spécifique est la plus simple

Le volume mort est donné par la formule suivante:

$$V_m = \frac{E_s \cdot S \cdot T \cdot m}{\tau}$$

Où: V_m : Volume mort en m^3

E_s : Erosion spécifique en Tonne/ km^2 /an

S: Surface du bassin versant en km^2

T: Durée de fonctionnement du barrage en an

m: Pourcentage d'alluvions restant dans le lac

τ : Poids volumique de la vase en Tonne/ m^3

L'érosion spécifique est déterminée dans l'étude hydrologique.

4- CALCUL DU VOLUME UTILE:

ETUDE DE LA REGULARISATION

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination du volume utile, selon le type de régularisation.

4-1) Méthode du bilan d'eau :

Dans cette méthode, les hydrogrammes de l'écoulement et de la consommation sont reportés sur un même graphique (Figure 5)

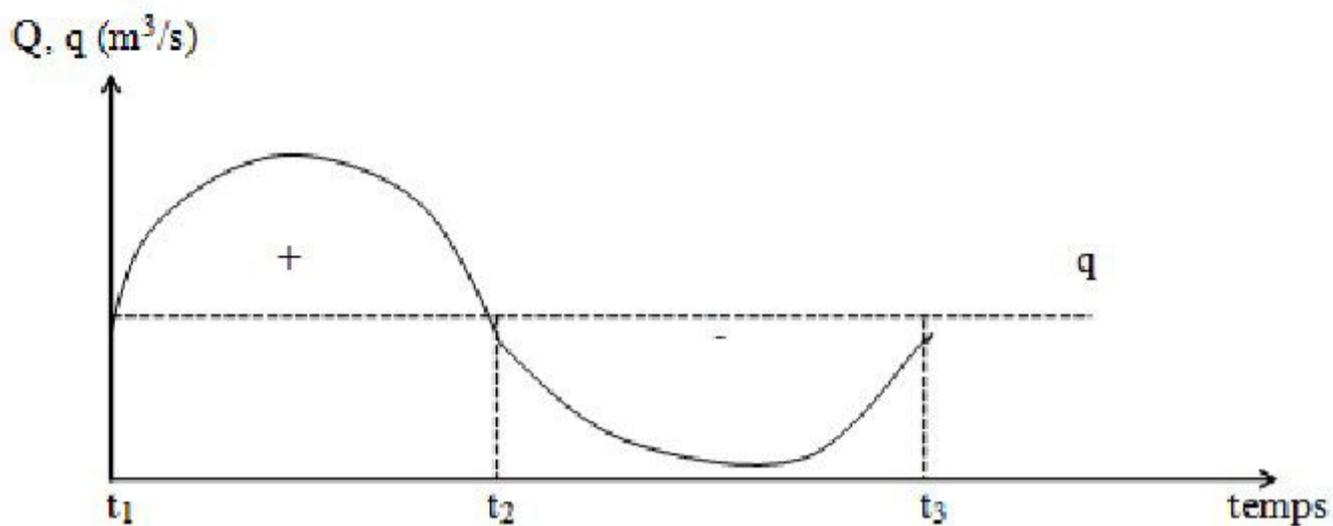


Figure 5: excès et déficit

Durant le temps $[t_1, t_2]$, il y a excès d'eau. L'apport dépasse la consommation. Durant le temps $[t_2, t_3]$, il ya déficit. L'apport est moindre que la consommation. Dans les conditions normales d'exploitation, la capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue c'est-à-dire la côte au niveau normal de la retenue NNR.

L'alternance de la période de remplissage ou de restitution s'appelle temps de fonctionnement de la retenue.

Le calcul du volume utile nécessite la connaissance du type de fonctionnement de la retenue.

Il existe six types de fonctionnement:

- Fonctionnement à un temps (Figure 6a)
- Fonctionnement à deux temps indépendants (Figure 6b)
- Fonctionnement à deux temps dépendants (Figure 6c)
- Fonctionnement à deux temps dépendants intermédiaires (Figure 6d)
- Fonctionnement à plusieurs temps indépendants
- Fonctionnement à plusieurs temps dépendants

La limite supérieure de remplissage est le niveau normal de la retenue NNR.

La limite inférieure pour la consommation est le niveau du volume mort NVM.

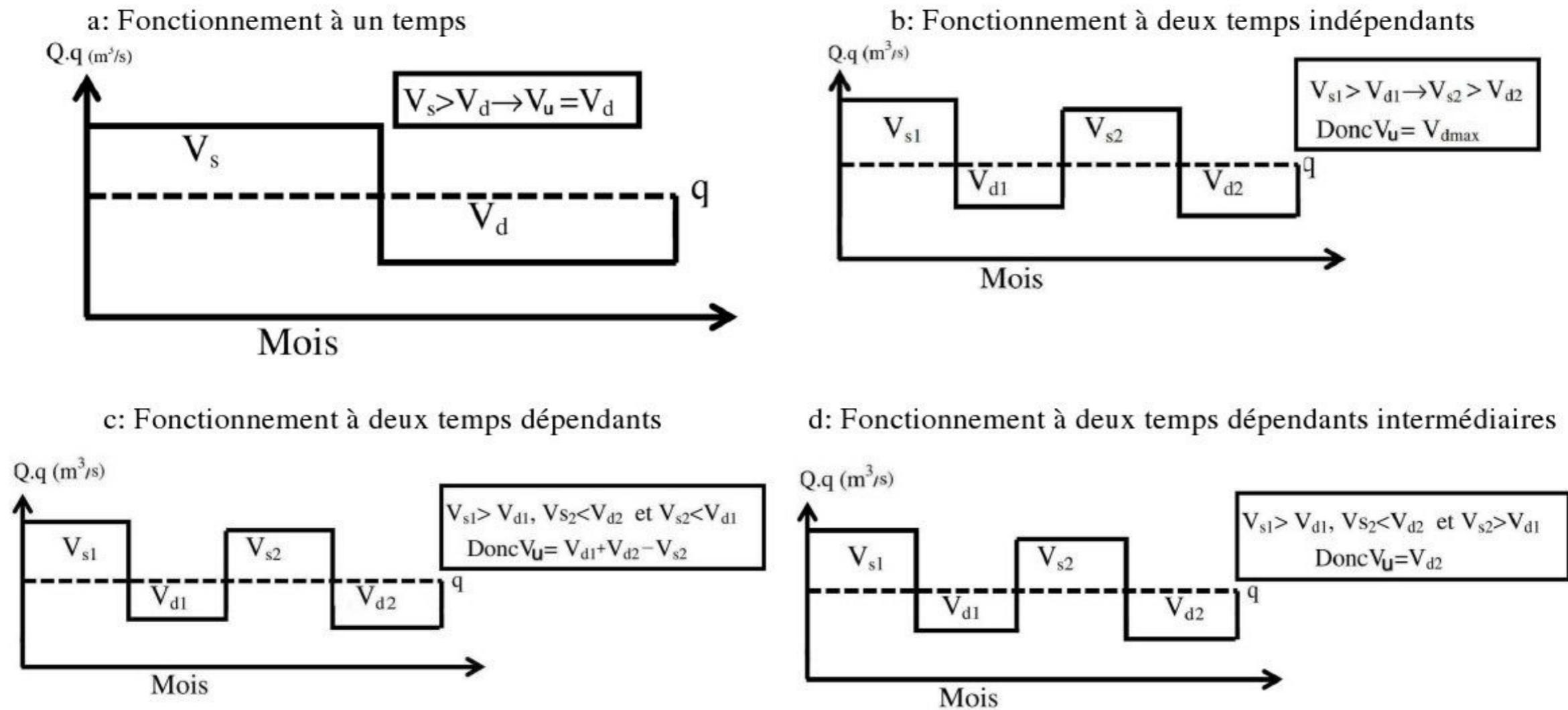


Figure 6: type de fonctionnement du barrage

V_s : volume excédentaire compté (+) ; V_d : Volume déficitaire compté (-)
 $V_s = \text{Apports (W)} - \text{Besoins (U)}$ avec $W > U$; $V_d = W - U$ avec $W < U$

Calcul du volume utile sans tenir compte des pertes

Les données de base sont:

- L'apport à 80% (W) en m³
- Les besoins en eau (U) en m³
- Le volume mort pour fixer le NVM

Pour expliquer convenablement la méthode, traitons un exemple: Calculer par la méthode du bilan d'eau, le volume utile de la retenue sans tenir compte des pertes et tracer le graphique d'exploitation de la retenue.

Données:

La répartition mensuelle de l'apport de fréquence 80%.

La répartition mensuelle de la consommation.

Le volume mort de la retenue.

Procédé de calcul

- Détermination de la période à bonne hydraulicité;
- Détermination des périodes excédentaires et des déficitaires sur un cycle hydrologique;
- Calcul des volumes excédentaires "V_s" et des volumes déficitaires "V_d"

Calcul du volume utile en tenant compte des pertes

Les pertes dans une retenue sont de deux sortes:

- Pertes par infiltration
- Pertes par évaporation

Les pertes totales sont: pertes évaporation + pertes infiltration.

- Pertes par évaporation

Le volume mensuel des pertes par évaporation est:

$$V_{Em} = E_c \cdot S_{moy}$$

Avec:

E_c: Evaporation de la surface du plan d'eau en mm

S_{moy}: Surface du plan d'eau correspondant au volume moyen.

Cette surface est déterminée sur les courbes topographiques. On calcule V_{moy} et on cherche S_{moy} correspondant sur la courbe $S = f(V)$

$$V_{moy} = \frac{V_{ri} + V_{rf}}{2}$$

La lame d'eau évaporée mensuellement est:

$$V_{Ecmens} = E_{cmens} \cdot S_{moy}$$

S_{moy} étant la surface d'eau correspond au volume moyen et est déterminée sur la courbes des surfaces submergées et la courbe des volumes d'eau dans la retenue.

- Pertes par infiltration

Le volume mensuel des pertes par infiltration est:

$$V_{inf.mens} = \frac{\delta V_{moy}}{100}$$

δ : Coefficient dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette. Les valeurs de ce coefficient sont données dans le tableau 4.

Tableau 4. Coefficient δ en fonction des conditions hydrogéologique

Conditions hydrogéologiques	Hauteur d'infiltration pendant 1 an (cm)	% du volume moyen	
		Année	Mois
Sol à faible perméabilité	0 à 50	0,5 à 1,0	0,5 à 1,0
Sol à perméabilité moyenne	50 à 100	1,0 à 2,0	1,0 à 1,5
Sol à fort perméabilité	≥ 100 à 200	$\geq 2,0$ à 4,0	$\geq 1,5$ à 3,0

Le volume utile est déterminé après avoir cherché de nouveau les volumes excédentaires " V_s "; les volumes déficitaires " V_d " et le type de fonctionnement de la retenue qui en principe reste inchangé.

La valeur des pertes est considérée dans le calcul comme étant une consommation en plus.

Consommation + pertes totales = consommation totale

$$U + II = U' \text{ donc } U' = U + II_m.$$

Pour retrouver les différents V_s et V_d , il faut reprendre le calcul normalement comme dans le tableau 3.

$$E = \frac{Vu' - Vu}{Vu} \cdot 100 \leq 2\%$$

Si "E" est supérieure à 1 à 2%, il faut faire des approximations successives du volume moyen jusqu'à stabilisation de ces pertes.

Dans la 2^{ème} approximation, si E n'est pas vérifiée, le V_{ri} de la 1^{ère} approximation sera utilisé pour calculer le volume moyen V_m^2 :

$$V_m^2 = \frac{V_{ri} + V_{ri2}}{2}$$
 et refaire le calcul comme pour la 1^{ère} approximation jusqu'à obtenir $E \leq 2\%$

4-2) Méthode graphique ou courbes sommaires entières

Cette méthode consiste à déterminer graphiquement le volume utile. Pour cela, il faut disposer de la répartition mensuelle de l'apport fréquentiel et de la consommation.

Procédé

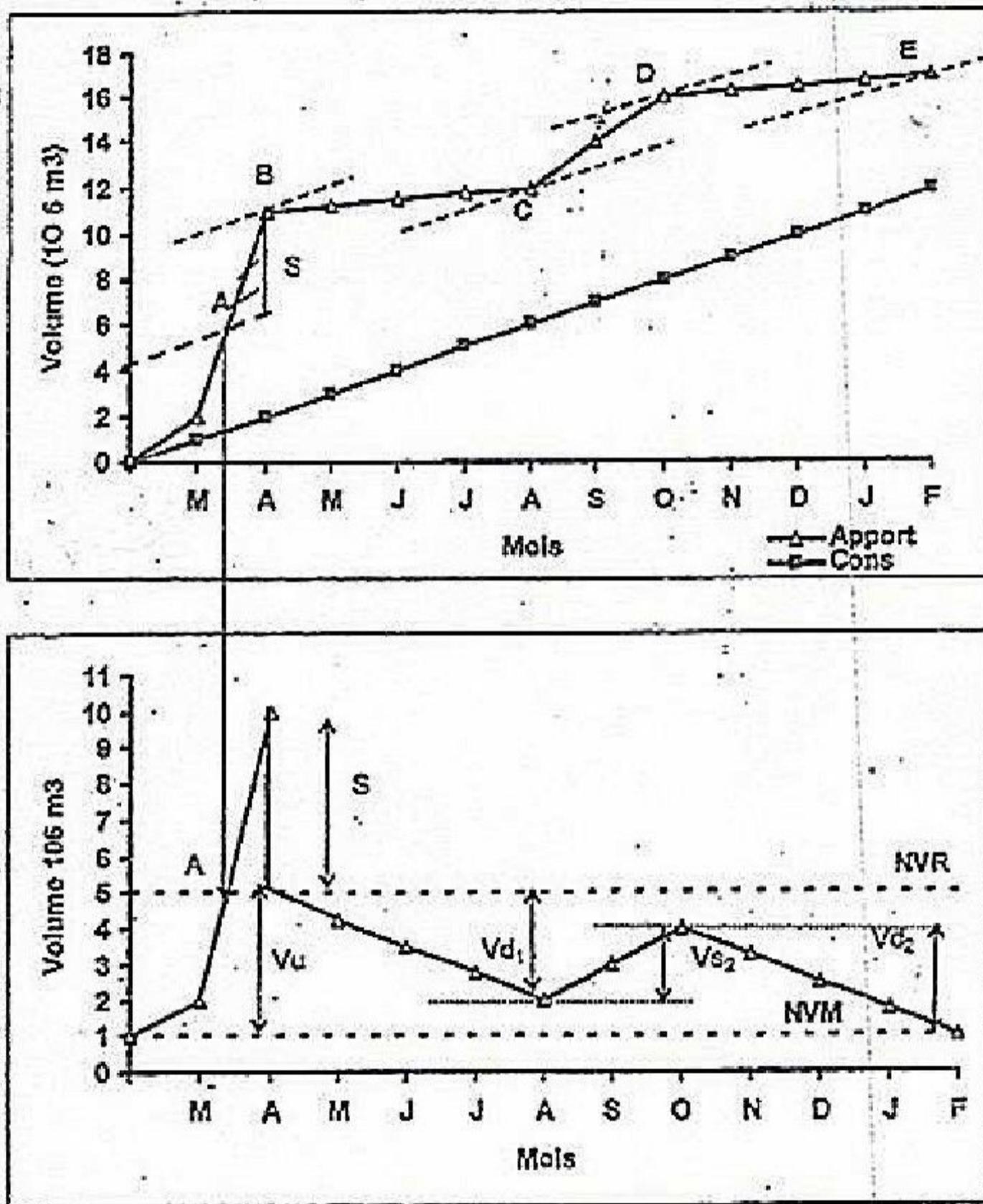
- Détermination de la période à bonne hydraulité
- Tracé les courbes $W = f(T)$ et $U = f(T)$ respectivement courbe des apports et courbe de la consommation, en cumulé sur un même graphe.
- Détermination des périodes excédentaires en eau et des périodes déficitaires par le calcul des tangentes aux différents segments de droite des 2 courbes $W = f(T)$ et $U = f(T)$ et comparer les tangentes entre elles.

Si, $Tg \alpha > Tg \beta \rightarrow$ il y a un excédent d'eau

Si, $Tg \alpha < Tg \beta \rightarrow$ il y a un déficit d'eau

- Détermination des volumes excédentaires V_s et V_d .
- Détermination du type de fonctionnement de la retenue, donc du volume utile. Ce dernier est représenté par le vertical entre la tangente supérieure et la tangente inférieure (Fig. 11). Il peut être vérifié par le calcul.

Pour tracer le graphique d'exploitation, le volume utile est reporté sur le graphe $W = f(T)$ et $U = f(T)$ (Le point A sur le graphe est l'intersection de la tangente de V_u avec V_s) comme le montre la figure 7.



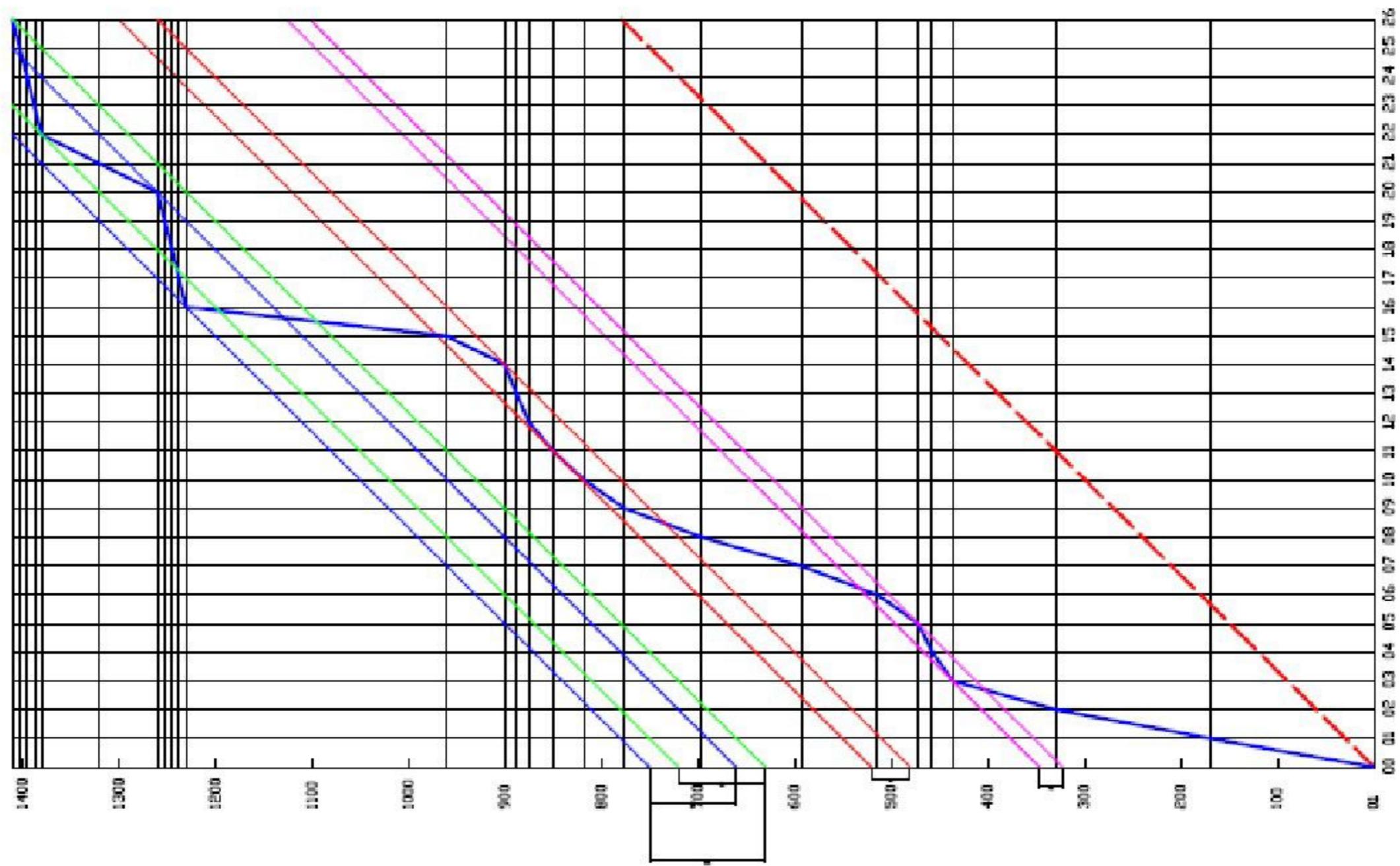


Figure 7: Détermination du volume utile par la méthode graphique