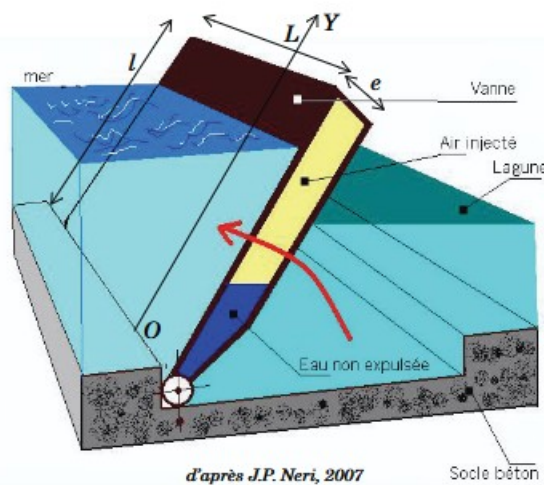


Projet MOSE

Le 4 novembre 1966 le niveau d'eau de la lagune de Venise a fortement augmenté et plus de 71% de la ville sont restés submergés sous plus d'un mètre d'eau 24 h durant. La marée a atteint 194 cm au-dessus du niveau 0 de référence, niveau moyen de la lagune en 1897. Les marées hautes dont la cote égale ou dépasse 110 cm au-dessus du niveau de référence sont appelées « acqua alta ». Ces phénomènes liés aux marées océaniques se succèdent à une cadence accrue depuis trois décennies. Pour faire barrage à ces flots envahissants, les autorités italiennes ont opté en 2001 pour une solution impressionnante : le projet MOSE (MODulo Sperimentale Elettromecanico, MODule Expérimental Électromécanique). En italien, le prénom Mosè est l'équivalent de « Moïse ». L'étymologie courante de ce prénom est « sauvé des eaux », ce qui recouvre bien la finalité du projet.



d'après J.P. Neri, 2007

Étendue du chantier :

- 200 ha à protéger
- 45 km de plage à reconstruire
- 8 km de dune reconstruite
- 15 km de chantier
- Environ 80 vannes de 20 m sur 30 à poser devant les 3 passes d'accès du Lido (800 m de large), Malamocco et Chioggia (400 m de large chacune).

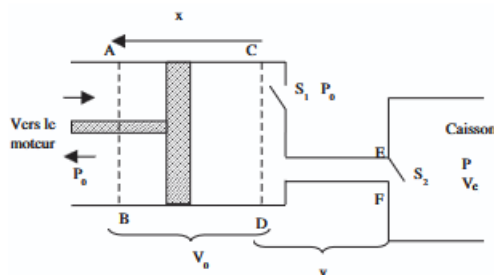
Schémas de fonctionnement d'une vanne à gravité dans les barrages mobiles

Dans le cas où le niveau de l'eau dépasse les 110 cm, les vannes sont partiellement vidées de leur eau par injection d'air comprimé : elles se soulèvent, en

Partie II - Étude de la compression et de l'injection de l'air dans le caisson

II.A - Compression de l'air dans le caisson

Chaque compresseur utilisé pour injecter l'air dans le caisson, est constitué d'un cylindre de section s , de volume V_0 entre les sections AB d'abscisse $x = d$ et CD d'abscisse $x = 0$, de deux soupapes S_1 et S_2 , d'un tuyau de volume v délimité par les sections CD et EF et d'un piston mobile sans frottement entre les positions AB et CD . La pression atmosphérique constante s'exerce sur la face extérieure du piston.



Lors de la phase d'aspiration, la soupape S_2 se ferme et la soupape S_1 s'ouvre quand la pression dans le cylindre est juste inférieure à la pression atmosphérique P_0 . L'air à la pression atmosphérique P_0 est alors aspiré dans le cylindre. Lors du retour du piston la soupape S_1 se ferme alors que la soupape S_2 s'ouvre dès que la pression dans le cylindre devient juste supérieure à la pression P dans le caisson.

Le volume d'air dans le caisson reste à la valeur constante V_c tant que la pression P dans le caisson n'a pas atteint la pression P_f : pression suffisante pour éjecter l'eau du caisson. On prendra $P_f = 3P_0$.

N compresseurs travaillent en parallèle pour comprimer l'air dans le caisson ; $N = 10$.

Toutes les transformations sont quasi statiques et s'effectuent à température constante T_0 : la température de l'atmosphère. L'air, quelque soit sa pression, sera considéré comme un gaz parfait.

Valeurs numériques : $P_0 = 1 \text{ bar}$; $T_0 = 290 \text{ K}$; $V_c = 150 \text{ m}^3$; $V_0 = 2 \text{ m}^3$; $v = 0,5 \text{ m}^3$; $R(\text{constante des gaz parfaits}) = 8,31 \text{ SI}$.

II.A.1) À l'instant initial la pression de l'air dans les compresseurs et dans le caisson est la pression atmosphérique P_0 . Les pistons sont en position AB .

Un moteur actionne les pistons de AB à CD .

On suppose $P_1 < P_f$.

Calculer, en fonction de P_0, V_0, V_c, v, N, R et T_0 la pression P_1 et la variation Δn du nombre de moles d'air dans le caisson. Effectuer l'application numérique.

II.A.2) La soupape S_2 se ferme et les pistons sont déplacés de CD à AB . Déterminer la position x_1 du piston lorsque s'ouvre la soupape S_1 en fonction de N, V_c, v et d . La mesure de x_1 sera faite à partir de la position CD .

II.A.3) Déterminer le travail w reçu par l'air contenu dans les compresseurs et le caisson lors du déplacement des pistons de AB à CD . Quel est le transfert thermique q reçu par l'air ? Exprimer w et q en fonction de P_0, V_c, v, N et V_0 et faire l'application numérique.

II.A.4) Calculer le travail W_a fourni par le moteur lors du déplacement des pistons de AB à CD puis W_r lors du retour de CD à AB .

Montrer que le travail W_m fourni par le moteur lors d'un aller et retour des pistons est :

$$W_m = V_c P_1 \ln P_1 / P_0 + (P_0 - P_1) V_c.$$

Calculer ce travail et commenter sa valeur.

II.A.5) À un instant donné, les pistons sont dans la position AB , les soupapes S_2 sont fermées. La pression est P_i à l'intérieur du caisson. Le moteur pousse les pistons de AB à CD .

Quelle relation les pressions P_0 et P_i doivent-elles vérifier afin que les soupapes S_2 s'ouvrent au cours du mouvement ?

Quelle est la position $x = \alpha_{i+1}$ des pistons au moment de cette ouverture ?

Quelle est la pression P_{i+1} à l'intérieur du caisson lorsque les pistons atteignent la position CD ?

Montrer que P_0, P_i et P_{i+1} vérifient la relation (1) suivante :

$$P_{i+1} - bP_0 = a(P_i - bP_0) \quad (1)$$

a et b étant des constantes que l'on déterminera littéralement, puis numériquement.

II.A.6) À l'aide de la relation (1) du II.A.5, calculer la pression P_n à l'intérieur du caisson après n va-et-vient des pistons. Quelle est la valeur limite P_∞ de P_n lorsque $n \rightarrow \infty$? Interpréter physiquement cette valeur limite.

II.A.7) Pour établir l'expression du travail $W_{m,i+1}$ fourni par le moteur et reçu par le gaz lors du va-et-vient qui conduit la pression du caisson de P_i à P_{i+1} , on considère le processus suivant, qui fournit le même résultat, ainsi qu'on le vérifiera sur le cas particulier $W_{m,1} = W_m$.

a) Entre l'instant t et $t + dt$, le moteur fournit le travail $\delta W_{m,i+1}$ nécessaire à la compression isotherme (à la température T_0) d'une quantité d'air δn (en mole), depuis la pression P_0 à la pression $P(t)$, avec $P_i \leq P(t) \leq P_{i+1}$. Exprimer $\delta W_{m,i+1}$ en fonction de δn , R , T_0 , $P(t)$ et P_0 .

b) Suite à l'introduction isotherme de la quantité δn d'air supplémentaire dans le caisson, établir, en fonction de δn , R , T_0 et V_c , l'expression de l'augmentation de pression dP qui en résulte.

c) En déduire l'expression de $\delta W_{m,i+1}$ en fonction de $P(t)$, P_0 , V_c et dP puis celle de $W_{m,i+1}$.

d) Comparer $W_{m,1}$ à l'expression de W_m établie au II.A.4 et conclure.

II.A.8) Quel est le travail total W_t fourni par le moteur pour l'ensemble de n va-et-vient des pistons, en supposant que le volume d'air dans le caisson est toujours constant.

II.A.9) Calculer numériquement :

- la limite maximum P_∞ des pressions accessible,
- le nombre minimum v de va-et-vient des pistons nécessaires pour obtenir dans le caisson une pression supérieure à $P_f = 3P_0$. Quelle est alors la pression exacte P_v dans le caisson, en supposant que l'évacuation de l'eau n'a pas encore commencé) ? Commenter ce résultat.
- le travail fourni par le moteur pour parvenir à ce résultat.

II.B - Évacuation de l'eau du caisson

Lorsque la pression de l'air dans le caisson atteint une pression supérieure à $3P_0$, l'eau du caisson s'écoule. Le moteur continue à actionner les pistons de façon à maintenir la pression constante P_f de l'air dans le caisson. Les transformations de l'air sont toujours isothermes.

II.B.1) On laisse le caisson se soulever lorsque l'air occupe un volume $V_f = 1120 \text{ m}^3$ dans le caisson, à la pression P_f . Les pompes sont alors arrêtées. Quelle est alors la quantité d'air qui a été refoulée dans le caisson par les 10 pompes ?

II.B.2) En transposant la démarche décrite au II.A.7, calculer littéralement puis numériquement le travail W_t fourni par le moteur pour refouler dans le caisson la quantité d'air calculée précédemment.

II.B.3) Calculer le travail total W_{total} fourni par le moteur pour toute l'opération : compression initiale de l'air dans le caisson de P_0 à P_f puis refoulement de l'air à la pression P_f dans le caisson.

On désire que la durée totale de cette opération n'excède pas une heure. Quelle doit être la puissance du moteur ?

II.B.4) À votre avis, comment l'énergie peut-elle être fournie au moteur ? Quels sont les inconvénients et les avantages du projet MOSE ? Que pensez-vous de ce projet ?