

TD 3 / GROUPEMENT DES POMPES

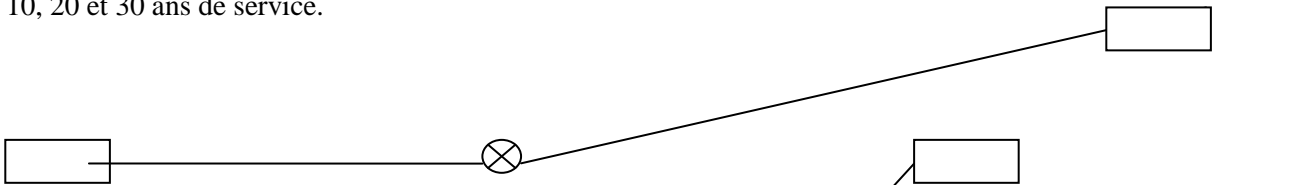
EXO 1

Hypothèses :

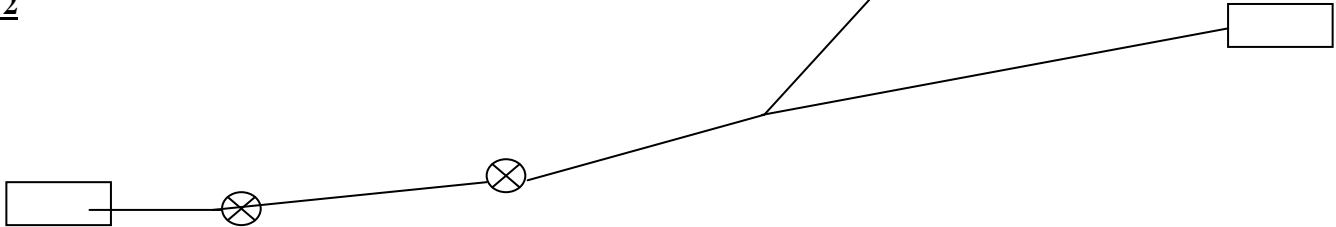
- L'équation de Hazen-Williams pour le calcul des pdc linéaires $\Delta H_L = 10,654 (Q/C_{hw})^{1,8518} L / D^{4,87}$
- $\Delta H_s == 15\% \Delta H_L$
- Matériau - Refoulement = Fonte
- Matériau- Aspiration = Acier
- Durée de vie du projet = 30 ans
- $N = 2900 \text{ tr/min}$
- $D_2 = 216 \text{ mm}$

Q (l/s)	0	20	50	80	110	140
H(m)	70	64	55	47	33	15
Rg (%)	-	50	60	70	65	45

- 1) Le débit qui arrive au réservoir ?
- 2) Les pressions et débits fournis par chaque pompe ?
- 3) Je veux augmenter le P_F de 10% en débit et en pression. Que faut-il faire ?
- 4) Je veux diminuer le P_F de 10% en débit et en pression. Que faut-il faire ?
- 5) La puissance du moteur de la pompe
- 6) Si le prix de l'énergie électrique coûte 4,18 DA/ KWh, calculer la dépense énergétique annuelle en supposant que la pompe fonctionne 24H/24H.
- 7) On suppose que le prix de l'énergie électrique augmente chaque année de 0,8%. Analyser la dépense énergétique après 10, 20 et 30 ans de service.

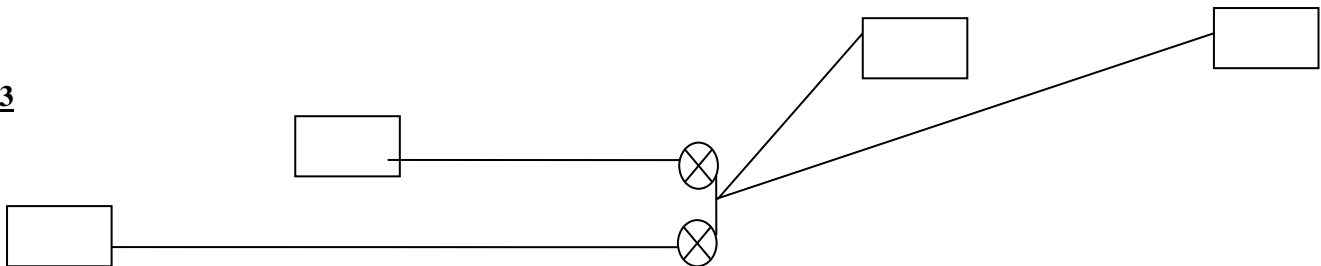


EXO 2



Q (l/s)	0	30	60	90	120	150	200
H P1 (m)	60	54	45	37	23	5	-
Rg P1 (%)	-	50	58	63	60	52	
H P2 (m)	55	52,7	49,4	45	39,6	33,1	20
Rg P2 (%)	-	54	60	65	69	68	50

EXO 3



Q (l/s)	0	30	60	90	120	150	200
H P1 (m)	60	54	45	37	23	5	-
Rg P1 (%)	-	50	58	63	60	52	
H P2 (m)	55	52,7	49,4	45	39,6	33,1	20
Rg P2 (%)	-	54	60	65	69	68	50

Pour les 2 exercices, trouver :

- La pression, le débit et la puissance moteur de chaque pompe
- Le débit qui arrive à chaque réservoir

EXO 2			
	Chw	L (m)	D (mm)
C0 (PVC)	150	10	350
C1(Acier)	120	30	250
C2(Acier)	120	120	250
C3(Acier)	120	550	200
C4(Acier)	120	1200	200

EXO 3			
	Chw	L (m)	D (mm)
C0 (Acier)	120	10	330
C1(Acier)	120	50	400
C2 (Béton armé)	110	1200	800
C3 (Béton armé)	110	750	750

SOLUTION EXO 1

Séquence Logique du Système de Pompage (SLSP)

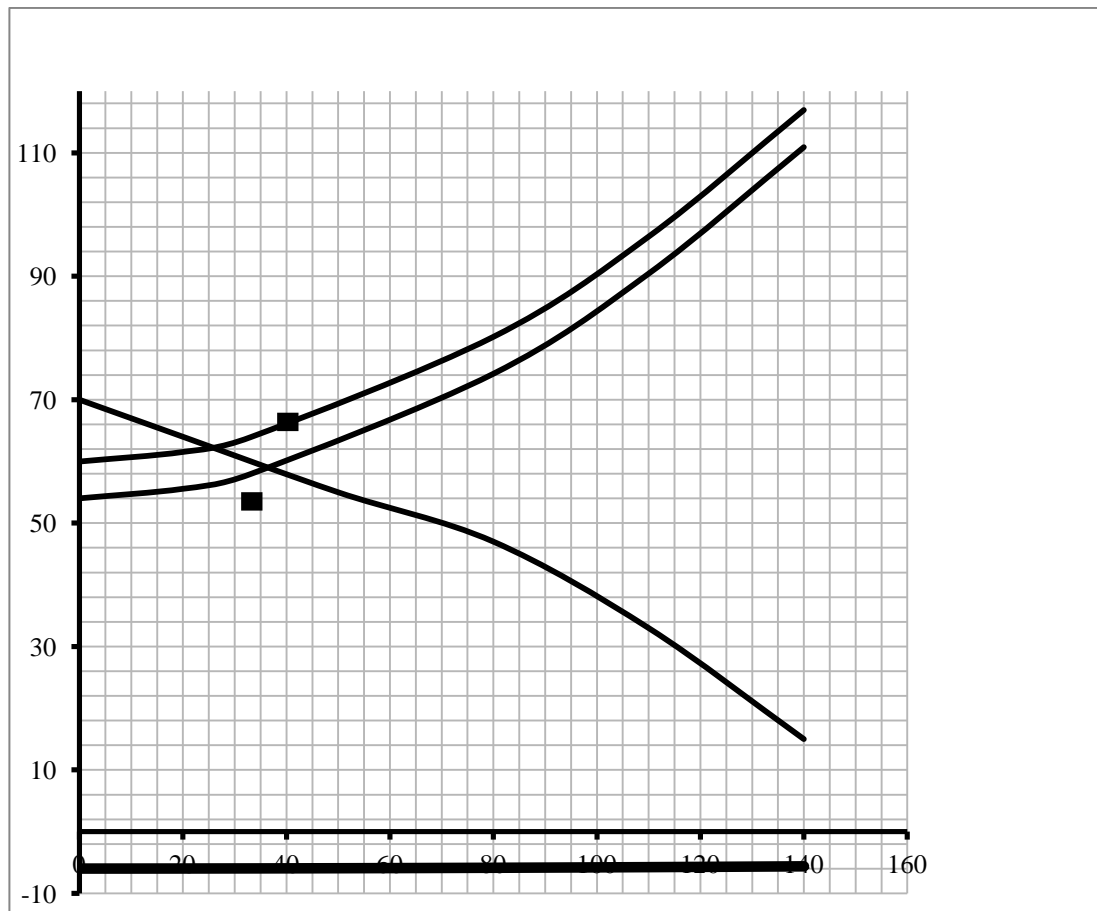
Pompes	Conduites
$P = P_{eq}$	$C0 \sum C1 = C_{eq}$
$P_{eq} \cap C_{eq} = P_f$	

Tableau 1

Conduite C0									
Q (l/s)	Q (m3/s)	Chw	L (m)	D(m)	Z - Finale	Z - Initiale	ΔZ	ΔHt	$C (C0) = \Delta Ht + \Delta Z$
0	0	150	50	0,32	900	906	-6	0,00	-6,0
20	0,02	150	50	0,32	900	906	-6	0,01	-6,0
50	0,05	150	50	0,32	900	906	-6	0,06	-5,9
80	0,08	150	50	0,32	900	906	-6	0,14	-5,9
110	0,11	150	50	0,32	900	906	-6	0,25	-5,8
140	0,14	150	50	0,32	900	906	-6	0,39	-5,6

Tableau 2

Conduite C1 (CONDUITE NEUVE) CHW = 130										
Q (l/s)	Q (m3/s)	Chw	L (m)	D(m)	Z - Finale	Z - Initiale	ΔZ	ΔHt	$C (C1) = \Delta Ht + \Delta Z$	$C (C0) \sum C(C1)$
0	0	130	1020	0,225	960	900	60	0,00	60,0	54,0
20	0,02	130	1020	0,225	960	900	60	1,55	61,5	55,5
33	0,033	130	1020	0,225	960	900	60	3,92	63,9	57,9
80	0,08	130	1020	0,225	960	900	60	20,19	80,2	74,2
110	0,11	130	1020	0,225	960	900	60	36,42	96,4	90,4
140	0,14	130	1020	0,225	960	900	60	56,92	116,9	110,9



Le point de fonctionnement Pf sera $Q = 36,7$ l/s et $H = 59$ m

- 1) Le débit qui arrive au réservoir = Q (C1) = Q (Ceq) = $36,7$ l/s
 - 2) Le débit et pression fournis par la pompe sont Q (P) = $36,7$ l/s et $H = 59$ m ($R_g = 0,55$ ou 55%)
 - 3) Si $\Delta Q = +10\%$ et $\Delta H = +10\% \Rightarrow Q = 36,7 + 10\% (36,7) = 40,4$ l/s et $H = 59 + 10\% (59) = 65$ m
- Donc le nouveau point désiré sera ($40,4$ l/s – 65 m).

Il est impératif de signaler que pour obtenir un quelconque point (Q, H) il faut assurer une intersection entre la courbe équivalente des pompes (CEP) et la courbe équivalente des conduites (CEC).

Si on dessine ce point sur le tracé précédent, on remarque qu'il n'appartient ni à la CEP ni à la CEC. En effet, il se trouve au-dessus de la courbe équivalente des pompes et au-dessus de la courbe équivalente des conduites. Ça veut dire, que pour l'obtenir on doit soulever (augmenter) la CEP et soulever (augmenter) la CEC. En conclusion, on dira que pour obtenir ce point ($40,4$ l/s – 65 m), on doit **agir simultanément sur la CEP et sur la CEC.**

- a) Pour soulever (augmenter) la CEP on a 2 méthodes :
 - a. 1) Augmenter la vitesse de rotation (N)
 - a. 2) Augmenter le diamètre extérieur de la roue de la pompe (D_2)
- b) Pour abaisser (diminuer) la CEC on a 2 méthodes :
 - b. 1) Laisser ΔZ constant et essayer d'augmenter les pertes de charge (ΔH_T)
 - b. 2) Laisser les pertes de charges constantes (ΔH_T) et essayer d'augmenter ΔZ

1ere solution

- (a. 1) + (b. 1) \Leftrightarrow [Augmenter la vitesse de rotation (N)] + [Laisser ΔZ constant et essayer d'augmenter les (ΔH_T)]

Pour augmenter (N), il faut savoir que sous une fréquence de 50Hz (le réseau électrique Algérien), la vitesse maximale des moteurs ne peut dépasser 2900 tr/min, cela vaudra dire qu'il est impossible d'augmenter la vitesse de rotation N au-delà de 2900 tr/min.

Pour augmenter les pertes de charge (voir équations de Darcy-Weisbach ou Hazen-Williams) il y a lieu d'augmenter la rugosité ($\uparrow \lambda$ ou $\downarrow Chw$), augmenter la longueur (L), diminuer le diamètre de la conduite (D), ou bien agir, par fermeture, sur une vanne de régulation, qui se trouve l'aval de la pompe). Mais attention, il ne faut pas oublier que la caractéristique d'une conduite est toujours montante/débit. En d'autres termes, elle n'admet jamais des minimums.

A bien regarder la courbe caractéristique de la conduite, on remarque que le point désiré ($40,4$ l/s – 65 m) a une ordonnée (65 m) qui se trouve exactement sur la courbe de refoulement (C1) et non pas sur la CEC. Pour avoir ce point (65 m) il faut que la caractéristique de la conduite d'aspiration (C0) soit nulle en ce point, ce qui est impossible car on a toujours une hauteur de quelque - 4 m (voir Tableau 1).

Finalement, la combinaison (a. 1) + (b. 1) ne permet pas d'avoir le point ($40,4$ l/s – 65 m).

Remarque / Comme il était impossible d'augmenter la vitesse de rotation (N), on pouvait ne pas faire l'analyse sur la CEC et déduire directement l'impossibilité d'obtenir le point ($40,4$ l/s – 65 m).

2eme solution

- (a. 1) + (b. 2) \Leftrightarrow [Augmenter la vitesse de rotation (N)] + [Laisser les pertes de charges constantes (ΔH_T) et essayer d'augmenter ΔZ]

Comme précédemment, on ne peut pas augmenter (N), donc directement, il est impossible d'obtenir le point ($40,4$ l/s – 65 m).

3eme et 4eme solution

- (a. 2) + (b. 1) et (a. 2) + (b. 2) \Leftrightarrow Augmentation du diamètre extérieur de la roue de la pompe. On a vu que c'était impossible. En définitive, le point ($40,4$ l/s – 65 m) ne peut être obtenu par augmentation de (D_2).

Conclusion / Le point de coordonnées $Q + 10\% =$ et $H + 10\% \Leftrightarrow Q = 40,4$ l/s et $H = 65$ m ne peut être obtenu.

- 4) Si $\Delta Q = -10\%$ et $\Delta H = -10\% \Rightarrow Q = 36,7 - 10\% (36,7) = 33$ l/s et $H = 59 - 10\% (59) = 53$ m, donc le point (33 l/s – 53 m).

Comme dit précédemment, pour obtenir un quelconque point (Q, H) il faut assurer une intersection entre la courbe équivalente des pompes (CEP) et la courbe équivalente des conduites (CEC).

Si on dessine ce point sur le tracé précédent, on remarque qu'il n'appartient ni à la CEP ni à la CEC. En effet, il se trouve en-dessous de la courbe équivalente des pompes et en-dessous de la courbe équivalente des conduites. Ça veut dire, que pour l'obtenir on doit abaisser (diminuer) la CEP et abaisser (diminuer) la CEC. En conclusion, on dira que pour obtenir ce point ($40,4$ l/s – 65 m), on doit **agir simultanément sur la CEP et sur la CEC.**

- a) Pour diminuer (abaisser) la CEP on a 2 méthodes :
 - a. 1) Diminuer la vitesse de rotation (N)
 - a. 2) Diminuer le diamètre extérieur de la roue de la pompe (D_2)
- b) Pour abaisser (diminuer) la CEC on a 2 méthodes :

- b. 1) Laisser (ΔZ) constant et essayer de réduire les pertes de charge (ΔH_T)
- b. 2) Laisser les pertes de charges constantes (ΔH_T) et essayer d'abaisser (ΔZ)

1ere solution

- (a. 1) + (b. 1) \Leftrightarrow [Diminuer la vitesse de rotation (N)] + [Laisser (ΔZ) constant et essayer de diminuer (ΔH_T)]
- Pompes / On fait appel aux lois de similitude pour trouver $N^{II} = N^I Q^{II}/Q^I = 2900 \cdot 33/36,7 = 2608$ tr/min
- Conduites / En laissant (ΔZ) constant, il est impossible de réduire (ΔH_T) car on va avoir un minimum.

Résultat/ Donc, le point (33 l/s – 53m) ne peut être obtenu.

2eme solution

- (a. 1) + (b. 2) \Leftrightarrow [Diminuer la vitesse de rotation (N)] + [Laisser (ΔH_T) constant et essayer de diminuer (ΔZ)]
- Pompes / On fait appel aux lois de similitude pour trouver $N^{II} = N^I Q^{II}/Q^I = 2900 \cdot 33/36,7 = 2608$ tr/min
- Conduites / En laissant (ΔH_T) constant, il est possible de réduire (ΔZ) d'une valeur de (- 5m). Cela veut dire que la courbe (C1) au lieu qu'elle commence à la cote + 55, doit commencer à la cote + 49.

Résultat/ Donc, le point (33 l/s – 53m) peut être obtenu.

3eme solution

- (a. 2) + (b. 1) \Leftrightarrow [Diminuer (D_2)] + [Laisser (ΔZ) constant et essayer de diminuer (ΔH_T)]
- Pompes / A partir des lois de similitude, on peut calculer le nouveau diamètre de la roue, en supposant un taux de rognage le plus faible (le Rg est inversement proportionnel avec le taux de rognage)
Pour $0 < RO < 1\%$, on a $\alpha = 2$ (voir formulaires du cours), on tire $D_2^{II} = 205,2$ mm
- Conduites / En laissant (ΔZ) constant, il est impossible de réduire (ΔH_T) car on va avoir un minimum.

Résultat / Donc, le point (33 l/s – 53m) ne peut être obtenu.

4eme solution

- (a. 2) + (b. 2) \Leftrightarrow [Diminuer (D_2)] + [Laisser (ΔH_T) constant et essayer de diminuer (ΔZ)]
- Pompes / A partir des lois de similitude, on peut calculer le nouveau diamètre de la roue, en supposant un taux de rognage le plus faible (le Rg est inversement proportionnel avec le taux de rognage)
Pour $0 < RO < 1\%$, on a $\alpha = 2$ (voir formulaires du cours), on tire $D_2^{II} = 205,2$ mm
- Conduites / En laissant (ΔH_T) constant, il est possible de réduire (ΔZ) d'une valeur de (- 5m). Cela veut dire que la courbe (C1) au lieu qu'elle commence à la cote + 55, doit commencer à la cote + 49.

Résultat / Donc, le point (33 l/s – 53m) peut être obtenu.

Conclusion / Pour obtenir le point (33 l/s – 53m), il y a lieu de choisir entre:

- ✓ Réduire ΔZ de (- 5m), $N = 2608$ tr/min et $D_2 = 216$ mm
- ✓ Réduire ΔZ de (- 5m), $D_2 = 205,2$ mm ($Ro = 5\%$) et $N = 2900$ tr/min

5) Calcul de la puissance moteur P_M

$$P_M = \alpha P_A = \alpha (9,81 \cdot 1000 \cdot 36,7 \cdot 10^{-3} \cdot 59/0,55) = \alpha \cdot 38621$$

$$P_A = 38621 \in [7000 - 40000] \text{ watts, donc } \alpha = 1,15$$

$$P_M = 44\,414 \text{ watts} = 44,4 \text{ KW}$$

6) $E = P_M \cdot T \cdot C_E = 44,4 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 4,18 = 1,63 \cdot 10^6$ DA/année (163 millions de centimes chaque année)

7)

	Neuve	Après 10 ans	Après 20 ans	Après 30 ans	Après 50 ans
	CHW = 130	CHW = 107	CHW = 89	CHW = 75	CHW = 45
Prix de l'énergie (DA/Kwh)	4,18	4,51	4,85	5,18	5,86
H (m)	59	59,7	60,5	61,5	64,4
Q (m ³ /s)	0,0367	0,0335	0,0310	0,0280	0,0180
Rg	0,55	0,55	0,54	0,53	-
P _a (KW)	39	36	34	32	-
α	1,15	1,15	1,15	1,15	-
P _{Mot} (KW)	44,4	41,0	39,2	36,7	-
E (10 ⁶ DA/année)	1,63	1,62	1,66	1,66	-

SOLUTION EXO 2

Séquence Logique du Système de Pompage (SLSP)

Pompes	Conduites
$P = P_{eq}$	$C0 \sum C1 = C_{eq}$
$P_{eq} \cap C_{eq} = P_f$	

Tableau

