

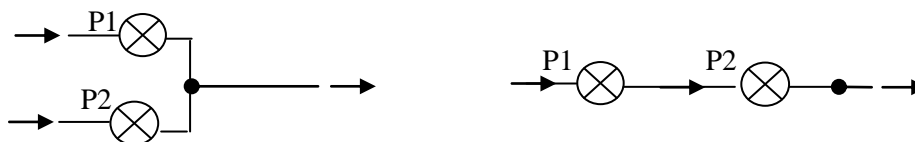
## CHAPITRE 4 / GROUPEMENT DES POMPES ET POINT DE FONCTIONNEMENT

### 1. GROUPEMENTS (ASSEMBLAGES) DES POMPES

Les pompes peuvent être groupées (assemblées) de 2 manières différentes :

- Groupement (Assemblage) en parallèle (//)
- Groupement (Assemblage) en série ( $\Sigma$ )

Le premier est utilisé pour accroître (augmenter) le débit, alors que le second pour augmenter la pression.



Groupement en //  $\Leftrightarrow H = \text{cte} \Rightarrow H_{P1} = H_{P2}$

Groupement en  $\Sigma \Leftrightarrow Q = \text{cte} \Rightarrow Q_{P1} = Q_{P2}$

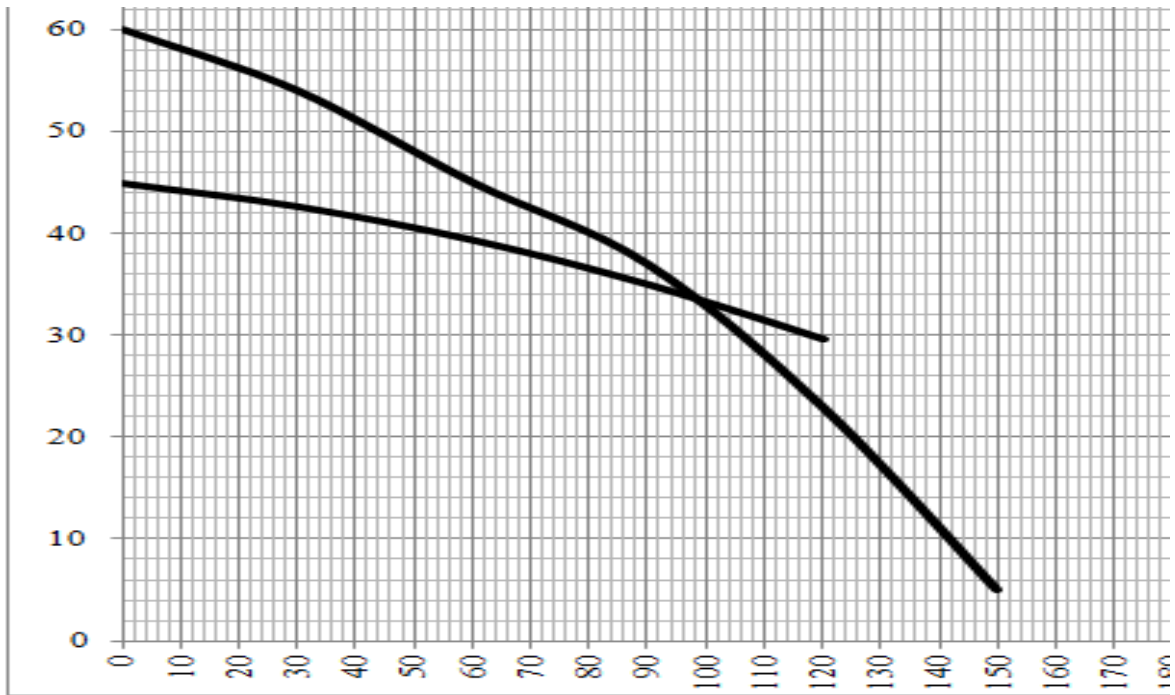
### 2. PRATIQUE DU GROUPEMENT DES POMPES

On peut toujours utiliser les mathématiques (méthode analytique) pour faire les groupements, mais il ne faut connaître les fonctions mathématiques des caractéristiques des pompes,  $H = f(Q)$ .

Il est utile de signaler que les caractéristiques des pompes s'obtiennent au niveau des laboratoires d'essai et des usines de fabrication des pompes, sous formes de tableau ou directement de courbes. Pour cette raison, nous allons adopter la méthode graphique pour le groupement des pompes.

#### Groupement en série ( $\Sigma$ )

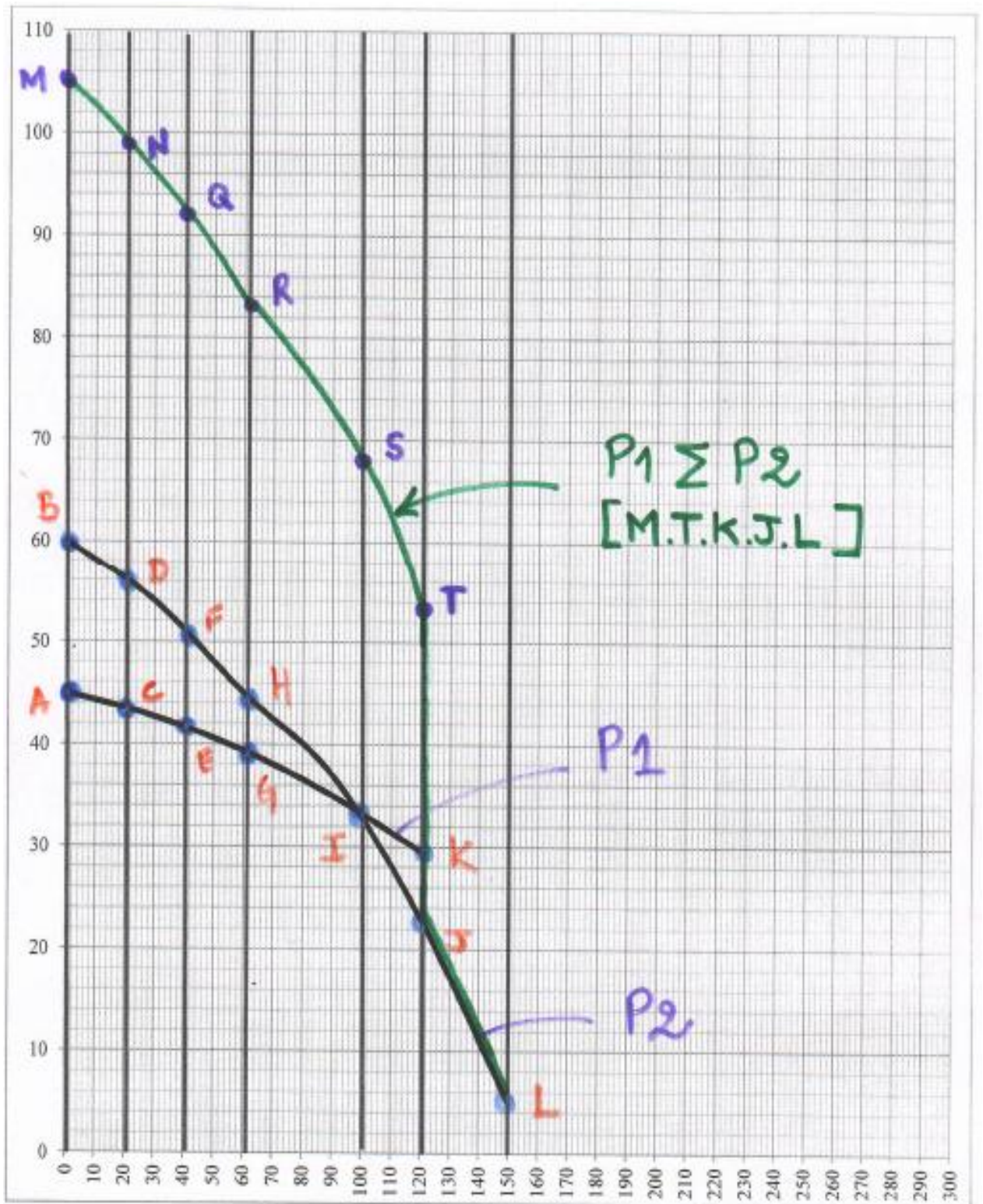
- Sur du papier millimétré dessiner les courbes des pompes, en prenant l'axe Y pour la pression et l'axe X pour le débit
- Pour faire un assemblage en  $\Sigma$ , prendre un débit commun pour toutes les pompes et faire la somme des H correspondantes. Pour ce 1<sup>er</sup> débit il y a 1 Hauteur
- Refaire l'étape (b) jusqu'à avoir plusieurs points (minimum = 5)
- A main levée, joindre les différents points
- La courbe obtenue représente le groupement en  $\Sigma$  des pompes



**Remarque /** Le choix des débits est quelconque. L'essentiel c'est de couvrir tous les intervalles des débits de chaque pompe

Tableau 1. Détails du groupement en Série

<b>Q</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>150</b>
<b>H-P1</b>	A = 45	C = 43	E = 42	G = 39	I = 34	J = 23	L = 5
<b>H-P2</b>	B = 60	D = 56	F = 50	H = 44	I = 34	K = 30	RIEN = 0
<b>Σ (H-P1 + H-P2)</b>	45+60 = 105 M	99 N	92 Q	83 R	68 S	53 T	5 V



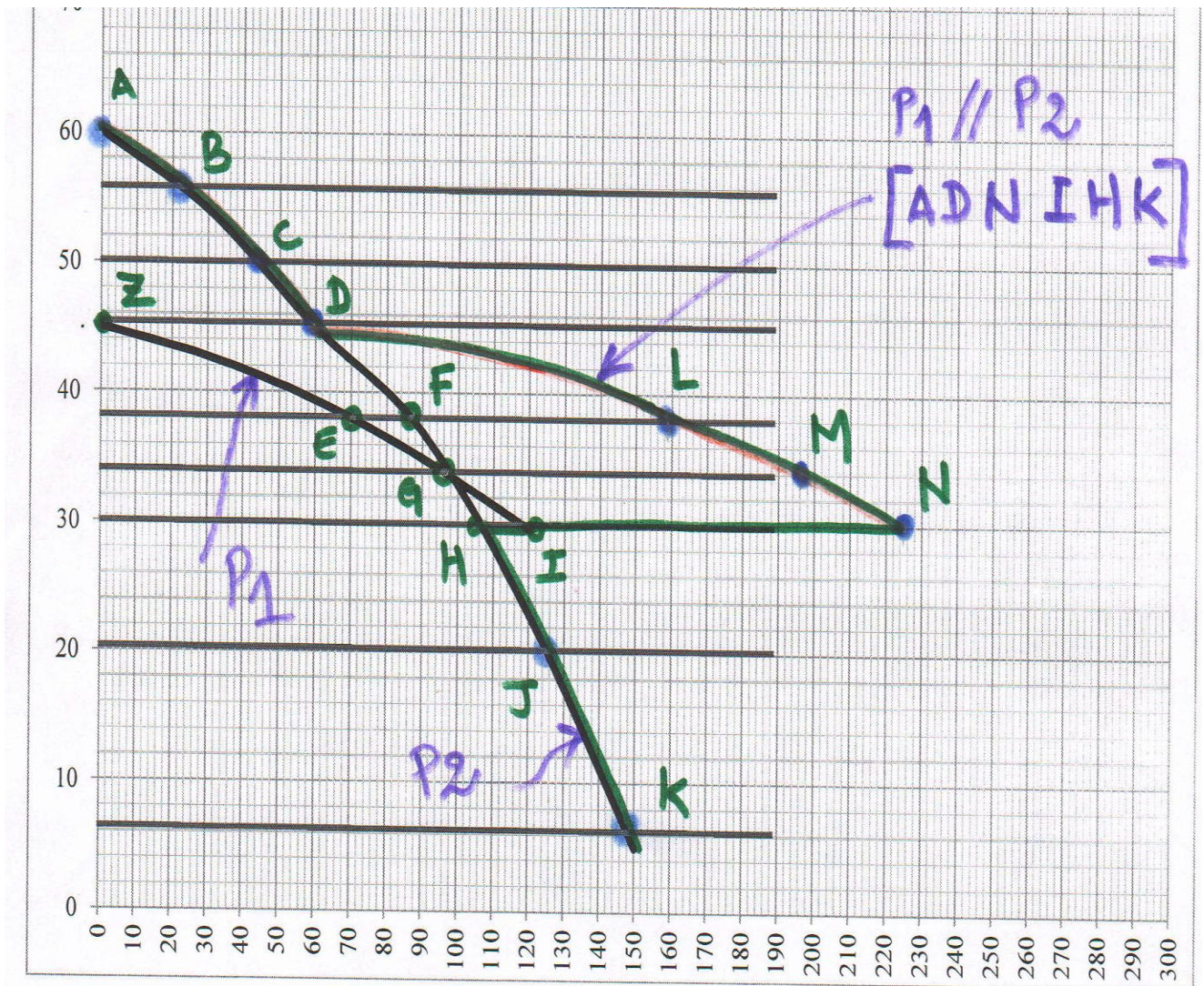
### Groupement en parallèle (//)

- Sur du papier millimétré dessiner les courbes des pompes, en prenant l'axe Y pour la pression et l'axe X pour le débit
- Pour faire un assemblage en //, prendre une hauteur commune pour toutes les pompes et faire la somme des Q correspondants. Pour cette 1<sup>ère</sup> hauteur, il y a 1 Débit
- Refaire l'étape (b) jusqu'à avoir plusieurs points (minimum = 5)
- A main levée, joindre les différents points
- La courbe obtenue représente le groupement en // des pompes

**Remarque /** Le choix des hauteurs est quelconque. L'essentiel c'est de couvrir tous les intervalles des hauteurs de chaque pompe

Tableau 2. Détails du groupement en Parallèle

H	6	20	30	34	38	46	50	56
Q-P1	K = 150	J = 125	I = 120	G = 96	E = 70	Z = 0	RIEN	RIEN
Q-P2	RIEN = 0	RIEN = 0	H = 104	G = 96	F = 86	D = 60	C = 42	B = 20
$\Sigma(Q-P1 + Q-P2)$	150 + 0 = 150 K	125 N	224 N	192 M	158 L	60 D	42 C	20 B



La méthode graphique est très puissante et peut être utilisée pour n'importe quel nombre de pompes.

Avant de clore cette partie, il est clair qu'avant de commencer le travail de groupement des pompes, il est essentiel de préciser si les pompes sont groupées en // ou en  $\Sigma$ .

C'est très simple ; il faut vérifier si le débit qui traverse la P1 est le même qui traverse la P2. Dans ce cas, P1 et P2 sont en  $\Sigma$ . Dans le cas contraire (débit différent), elles sont en //.

**Exemple 1**

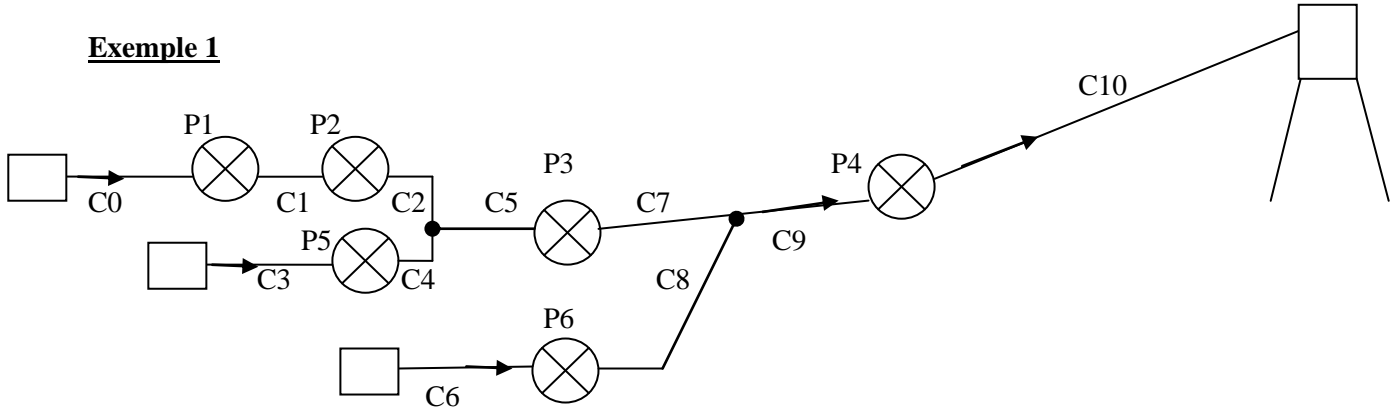


Tableau. 3. Séquences Logiques du Système de Pompage (SLSP)

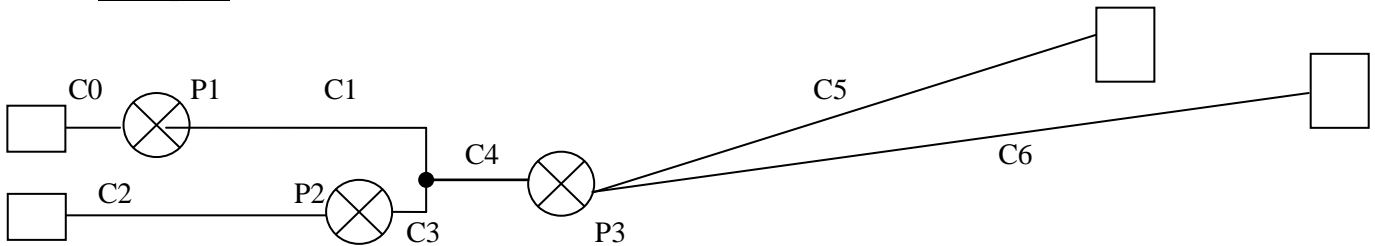
POMPES		CONDUITES
1) $P1 \Sigma P2 = P'$	On commence par grouper P1 et P2 en $\Sigma$ . On aura une pompe $P'$	1) $C0 \Sigma C1 \Sigma C2 = C'$
2) $P' // P5 = P''$	La pompe $P'$ de l'étape (1) va se mettre en // avec P5 et on aura une autre pompe $P''$	2) $C3 \Sigma C4 = C''$
3) $P'' \Sigma P3 = P'''$	.....	3) $C' // C'' = C'''$
4) $P''' // P6 = Pz$	.....	4) $C''' \Sigma C5 \Sigma C7 = C_A$
5) $Pz \Sigma P4 = P_{\text{Equivalente}}$	.....	5) $C6 \Sigma C8 = C_B$
		6) $C_A // C_B = C_D$
		7) $C_D \Sigma C9 \Sigma C10 = C_{\text{Equivalente}}$
<b><math>P_{\text{Equivalente}} (CP) \cap C_{\text{Equivalente}} (CR) = PF</math> (Point de Fonctionnement)</b>		

**Remarque très importante**

Dans le domaine des pompes, les conduites peuvent aussi travailler en  $\Sigma$  ou en //.

Pour cette raison, le groupement des conduites se fera de la même manière que celui des pompes

**Exemple 2**



Séquences Logiques du Système de Pompage – SLSP [M. Chendgoura, 2016]

POMPES		CONDUITES
$P1 // P2 = P'$	On commence par grouper P1 et P2 en //. On aura une pompe $P'$	$C0 \Sigma C1 = C'$
$P' \Sigma P3 = P_{\text{Eq}}$	La pompe $P'$ de l'étape (1) va se mettre en $\Sigma$ avec P3 et on aura une autre pompe $P_{\text{Eq}}$	$C2 \Sigma C3 = C''$
		$C' // C'' = C'''$
		$C''' \Sigma C4 = C_A$
		$C5 // C6 = C_B$
		$C_A \Sigma C_B = C_{\text{Eq}}$
<b><math>P_{\text{Equivalente}} (CP) \cap C_{\text{Equivalente}} (CR) = PF</math> (Point de Fonctionnement)</b>		

### 3. POINT DE FONCTIONNEMENT

On a vu, au chapitre 2 « Théorie des pompes », qu'une pompe, de diamètre extérieur de roue ( $r_2$ ), d'épaisseur extérieur de la roue ( $b_2$ ), comportant un nombre fini d'aube ( $Z$ ), d'angles de construction ( $\beta_1$  et  $\beta_2$ ) et tournant à une vitesse de rotation ( $N$ ), va donner un débit ( $Q$ ) et une pression ( $H$ ), avec un rendement global ( $R_G$ ). **Mais, attention, il s'agit d'une pompe sans réseau, c'est-à-dire, sans pertes de charge.** Donc, la question qu'on peut se poser est la suivante : quelles seront les nouvelles valeurs de débit ( $Q$ ), pression ( $H$ ), rendement global ( $R_G$ ) et de puissance moteur ( $P_M$ ) si à cette même pompe on lui ajoute tout un réseau composé de conduites, de vannes, de coudes, de réservoirs, de réducteurs de diamètres, de crépines, de clapets anti-retour,... etc. ?

Donc, réellement, le point de fonctionnement représente le débit, la pression et le rendement global que la pompe va fournir une fois elle sera connectée à un réseau.

Mathématiquement, le point de fonctionnement (PF), est égal à l'intersection entre la courbe de la pompe (CP) et la courbe du réseau (CR)  $\Leftrightarrow \text{PF} = \text{CP} \cap \text{CR}$ .

La courbe de la pompe (CP) =  $f(Q)$  est toujours donnée sous forme de tableau ou de graphique. Au chapitre 2, on a vu que cette fonction descendante du type puissance carrée.

La courbe du réseau (CR) est aussi une fonction carrée, car elle représente la variation des pertes de charge ( $\Delta H_L$  et  $\Delta H_S$ ) en fonction du débit. Elle sera obtenue après calcul des pertes de charges et application du théorème de Bernoulli.

#### 3.1. DETERMINATION DU POINT DE FONCTIONNEMENT (PF)

Comme vu précédemment, le PF représente l'intersection de la  $P_{Eq}$  et de la  $C_{Eq}$ .

Pour le déterminer, on suit les étapes suivantes :

- a) Sur la même feuille (Excel, papier millimétré...), tracer les courbes de toutes les pompes et toutes les conduites ;
- b) Etablir la SLSP des pompes et des conduites ;
- c) Selon la SLSP obtenue, commencer à faire les groupements des pompes ;
- d) Selon la SLSP obtenue, commencer à faire les groupements des conduites ;
- e) L'intersection entre la  $P_{Eq}$  et la  $C_{Eq}$  donnera le point de fonctionnement (PF)

Il est utile de faire remarquer que l'obtention du PF n'est pas une finalité (un objectif) mais une étape indispensable qui permettra de déterminer :

- Le débit, la pression et le rendement global de chaque pompe du système de pompage
- Les débits qui arrivent aux réservoirs
- Les débits qui traversent chaque conduite
- Les pertes de charge

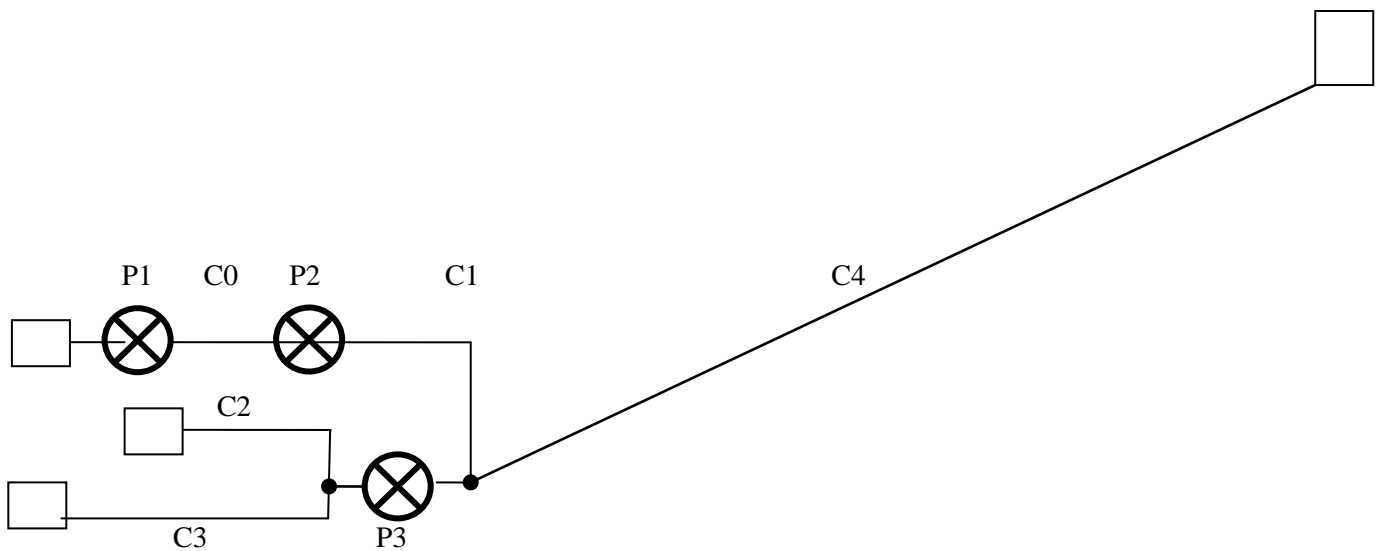
Pour permettre de déterminer les différentes données citées, ci-dessus, on pourra suivre les étapes suivantes :

- 1) A l'aide du tableau de la SLSP, établir l'organigramme du système de pompage (OSP)
- 2) A partir de l'OSP, déduire toutes les valeurs demandées.

### Application

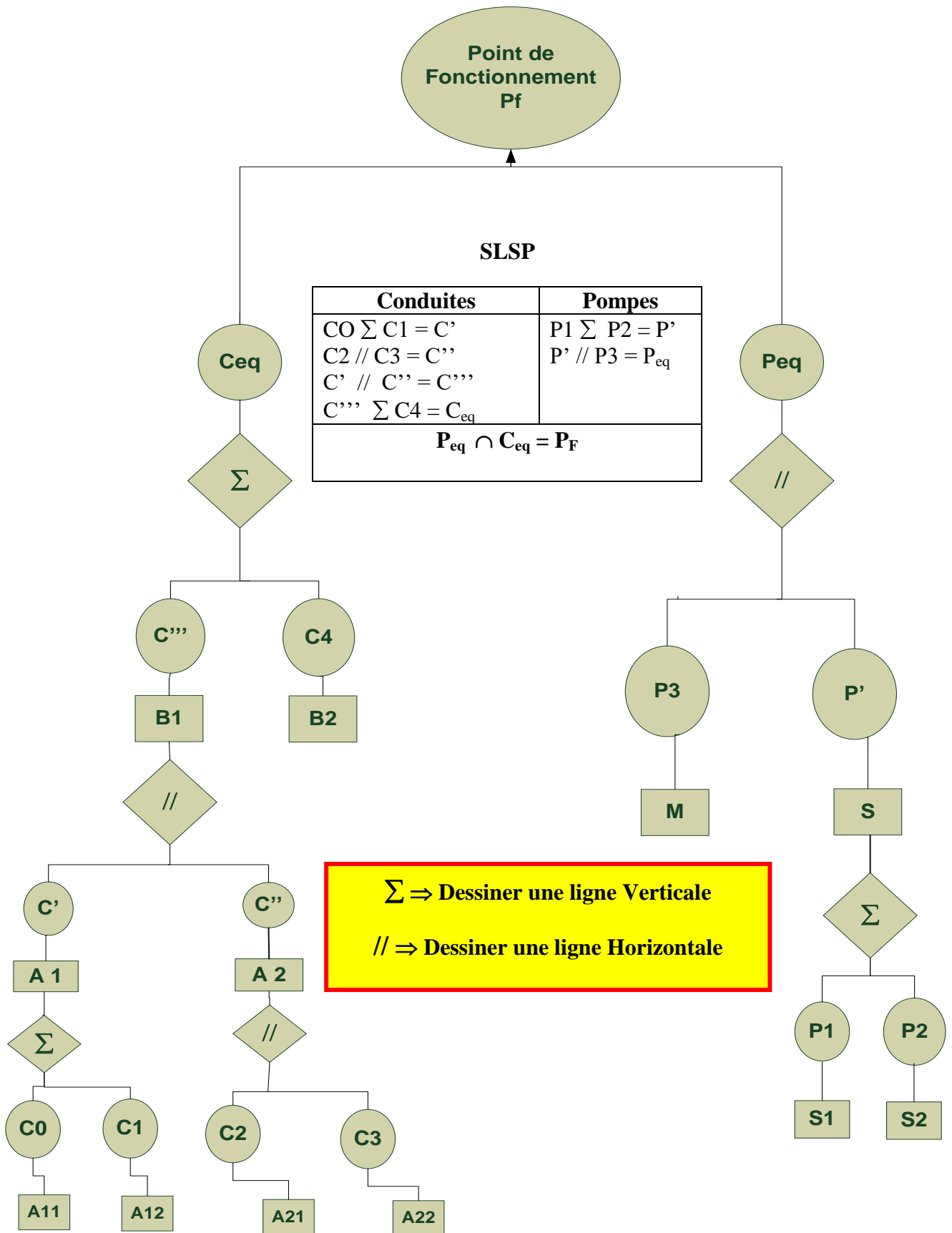
On donne le système de pompage ci-dessous ainsi que les courbes caractéristiques des pompes  $H = f(Q)$  et  $R_G = f(Q)$ . Les pompes tournent à 2900 tr/min et le liquide pompé est de l'eau avec  $\nu = 1 \text{ CS}$

- 1) Déterminer toutes les caractéristiques des pompes utilisées (Type,  $D_2$ ,  $D_1$ ,  $Z$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $H_{TH-\infty}$ ,  $H_{TH-Z}$ )
- 2) Déterminer le débit, la pression, le rendement global et la puissance du moteur de chaque pompe
- 3) Déterminer les débits qui arrivent à chaque réservoir.
- 4) Si le débit obtenu est en-deçà (au-dessous) de l'objectif. Comment peut-on faire pour l'augmenter de 20%
- 5) Si le débit obtenu est au-delà (au-dessus) de l'objectif. Comment peut-on faire pour le diminuer de 20%





Organigramme du Système de Pompage OSP [M. Chendgoura, 2016]





## Résultats

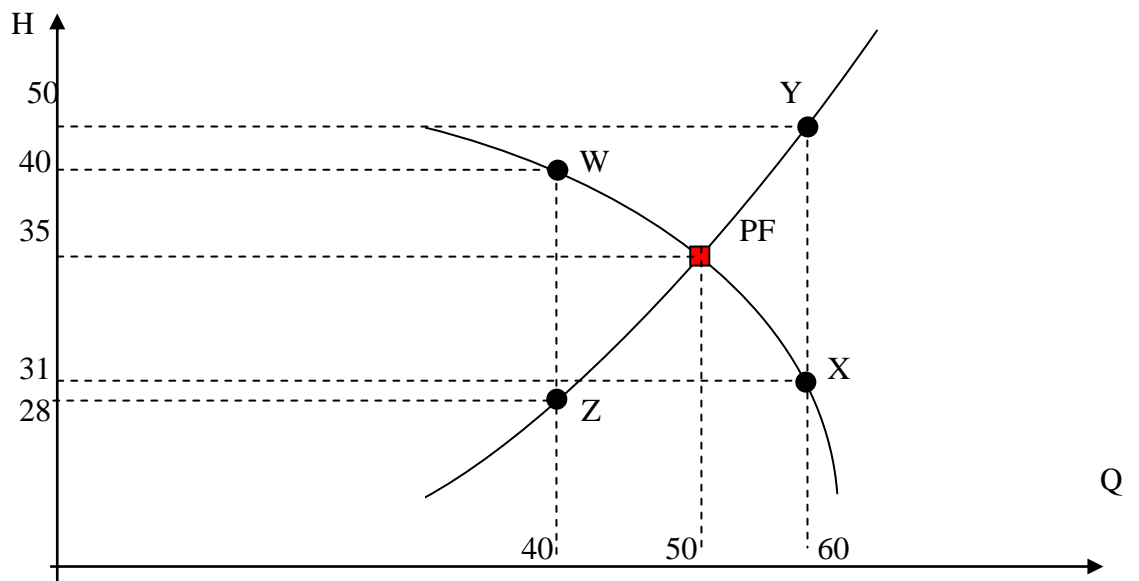
2) Le point de fonctionnement PF  $\left\{ \begin{array}{l} Q = 50 \text{ l/s} \\ H = 35 \text{ m} \end{array} \right.$

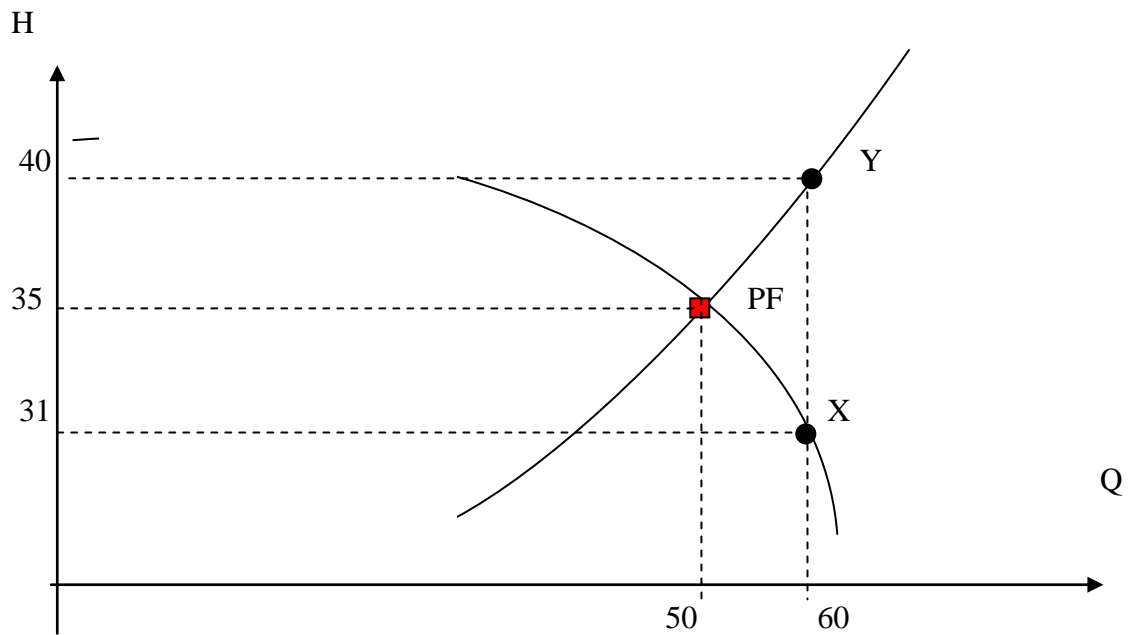
Pompe	Q (l/s)	H (m)	R <sub>G</sub>	P <sub>M</sub> (W)
<b>P1</b>	25,0	18	0,71	7462
<b>P2</b>	25,	17	0,78	6415
<b>P3</b>	27,5	35	0,71	15294

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
<b>R<sub>G</sub> (%)</b>	0,79	0,80	0,85
<b>Q<sub>NOMINAL</sub> (l/s)</b>	18,5	30,0	48,0
<b>0,6 Q<sub>N</sub> &lt; Q<sub>OP</sub> &lt; 1,2 Q<sub>N</sub></b>	[11,1 – 22,2]	[18,0 – 36,0]	[28,8 – 57,6]
<b>Q<sub>FOURNI</sub> (l/s)</b>	25,0	25,0	27,5
<b>Observation</b>	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix

3)  $Q_{RES} = Q_{C4} = Q_{B2} = Q_{PF} = 50 \text{ l/s}$

4) Si  $Q_{Désiré} = 1,2 Q_{PF} = 1,2 \times 50 = 60 \text{ l/s}$





On rappelle que pour avoir un débit donné, il est indispensable qu'il y est intersection entre la CR et la CP

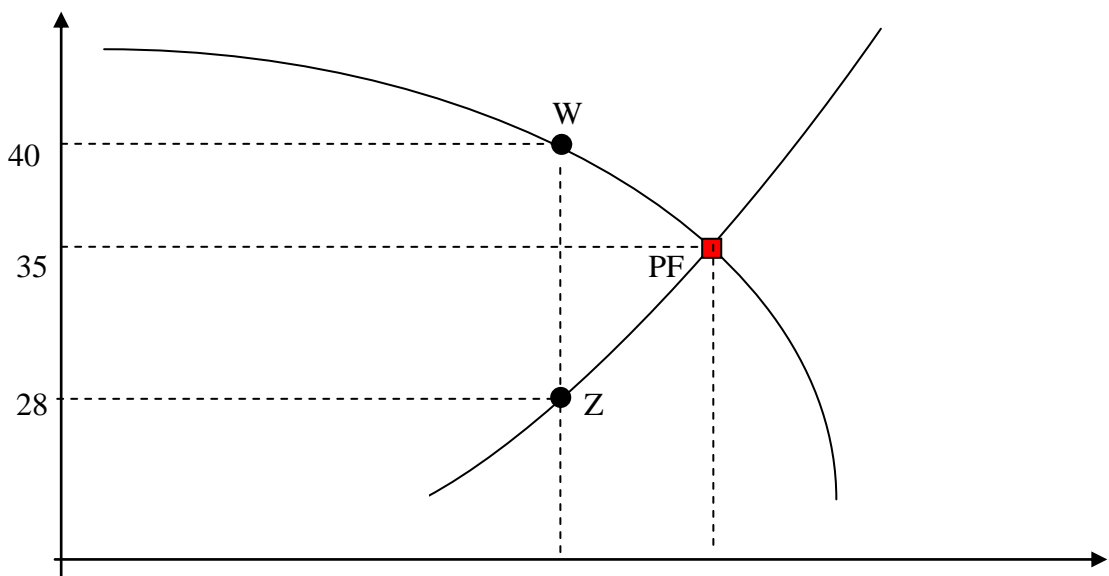
Pour augmenter le débit, il faut :

- Soit faire monter la courbe caractéristique de la pompe (augmenter  $N$  ou  $D_2$ )
- Soit faire abaisser la courbe caractéristique de la conduite (diminuer  $\Delta Z$  ou  $\Delta H_T$ )

Entre les 2 solutions, il faut chercher celle qui rempli les 2 conditions :

- Soit possible pratiquement
- Offre le plus grand rendement global

5) Si  $Q_{\text{Désiré}} = 0,8 Q_{\text{PF}} = 0,8 \times 50 = 40 \text{ l/s}$



Pour diminuer le débit, il faut :

- Soit faire abaisser la courbe caractéristique de la pompe (diminuer N ou D<sub>2</sub>)
- Soit faire augmenter la courbe caractéristique de la conduite (augmenter ΔZ ou ΔH<sub>T</sub>)

Entre les 2 solutions, il faut chercher celle qui remplit les 2 conditions :

- Soit possible pratiquement
- Offre le plus grand rendement global

#### 4. COMMENT TRACER LES COURBES CARACTERISTIQUES DES CONDUITES ?

La courbe d'une conduite est donnée par l'expression suivante : CR = ΔZ + ΔH<sub>T</sub> (Bernoulli)

Avec ;

- ΔZ = Différence de cotes du tronçon de conduite = Cote Finale – Cote Initiale
- ΔH<sub>T</sub> = ΔH<sub>S</sub> + ΔH<sub>L</sub>
- ΔH<sub>S</sub> = Pertes de charge singulières (vannes, coudes, tés, réductions, compteur, clapets,...etc). Pour les calculs, on les estime entre 10 et 20% de ΔH<sub>L</sub>. Dans ce cours, on les prend toujours égales à 20%.ΔH<sub>L</sub>
- **ΔH<sub>T</sub> = 1,2 x ΔH<sub>L</sub>**
- ΔH<sub>L</sub> = Pertes de charge linéaires. Pratiquement, 2 méthodes permettent de les calculer.

1) Formule de Darcy-Weisbach (1857)

$$\Delta H_L = \frac{8 \cdot \lambda \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

- Il est clair, que pour calculer la ΔH<sub>L</sub>, il faut calculer le coefficient de perte de charge linéaire (λ)  
Il existe plusieurs formules pour calculer λ. On peut citer :
  - ✓ Colebrook-White 1938
  - ✓ Swamme-Jain 1976
  - ✓ Achour-Bedjaoui 2006...

2) Hazen-Williams (1920)

$$\Delta H_L = \frac{10,675 \cdot L \cdot Q^{1,852}}{C_{HW} \cdot D^{4,87}}$$

Avec ;

C<sub>HW</sub> = Coefficient de rugosité de Hazen-Williams qui dépend du matériau de la conduite.

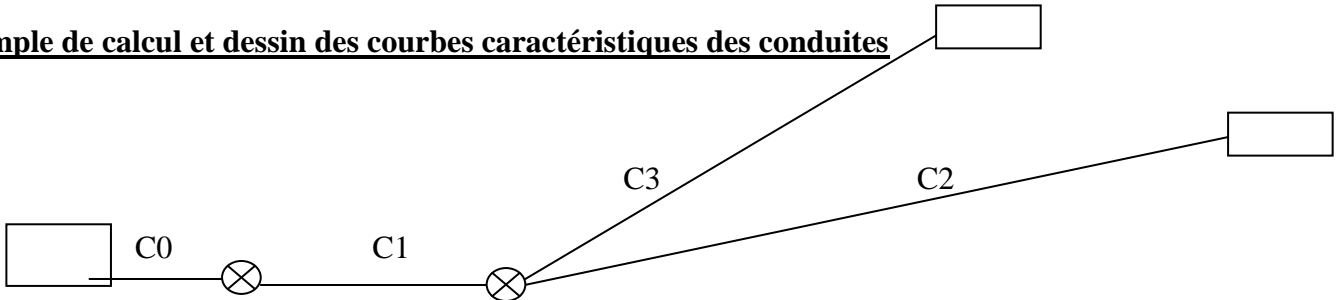
- ✓ Béton  $\left\{ \begin{array}{l} C_{HW} = 140 \text{ si } D < 1220 \text{ mm} \\ C_{HW} = 145 \text{ si } 1220 < D < 2740 \text{ mm} \\ C_{HW} = 150 \text{ si } D > 2740 \text{ mm} \end{array} \right.$
- ✓ Acier / C<sub>HW</sub> = 120
- ✓ PEHD / C<sub>HW</sub> = 155
- ✓ PEBD / C<sub>HW</sub> = 155

- ✓ PVC /  $C_{HW} = 150$
- ✓ PRV /  $C_{HW} = 150$
- ✓ Fonte /  $C_{HW} = 140$

**Remarques**

- 1) Dans ce cours, on va utiliser la méthode de Hazen-Williams
- 2) Dans les projets réels, il ne faut jamais oublier que, *quelque soit le type du matériau des conduites (acier, pvc, fonte,...etc.), il va y avoir toujours réduction des débits fournis avec l'âge de la conduite* (vie du projet). En d'autres termes, il va y avoir toujours, et de façon inéluctable, une augmentation des pertes de charges, due à une augmentation de la rugosité absolue ( $\epsilon$ ) des parois intérieures des conduites. Cette augmentation de rugosité est due, tout particulièrement, aux paramètres physico-chimiques de l'eau transportée. Les paramètres les plus importants sont ; l'acidité, la minéralisation, la teneur en matières organiques, la teneur en fer, le pH, le potentiel électronique ( $rH_2$ ) et la résistivité. Pour déterminer les nouvelles valeurs des coefficients de rugosité de Hazen-Williams, il est utile de consulter les travaux de Peter Lamont en 1952 [M. Carlier, 1980. Hydraulique générale. 238-240].

**Exemple de calcul et dessin des courbes caractéristiques des conduites**



	$C_{HW}$	L (m)	D (mm)
C0 (Acier)	120	10	350
C1(Fonte)	140	50	300
C2(PVC)	150	1200	300
C3(PEHD)	155	550	250

**CONDUITE / C0**

Q (l/s)	$C_{HW}$	L(m)	D (m)	$\Delta H_T = 1,2. \Delta H_L$	$\Delta Z$	CR
0	120,00	10,00	0,35	0,000	-5	-5,00
30	120,00	10,00	0,35	0,005	-5	-5,00
40	120,00	10,00	0,35	0,008	-5	-4,99
50	120,00	10,00	0,35	0,012	-5	-4,99
60	120,00	10,00	0,35	0,016	-5	-4,98
70	120,00	10,00	0,35	0,022	-5	-4,98
80	120,00	10,00	0,35	0,028	-5	-4,97
100	120,00	10,00	0,35	0,042	-5	-4,96

### CONDUITE / C1

Q (l/s)	C <sub>HW</sub>	L(m)	D (m)	$\Delta H_T = 1,2. \Delta H_L$	$\Delta Z$	CR
0	140,00	50,00	0,25	0,000	0	0,00
30	140,00	50,00	0,25	0,088	0	0,09
40	140,00	50,00	0,25	0,150	0	0,15
50	140,00	50,00	0,25	0,226	0	0,23
60	140,00	50,00	0,25	0,317	0	0,32
70	140,00	50,00	0,25	0,422	0	0,42
80	140,00	50,00	0,25	0,540	0	0,54
100	140,00	50,00	0,25	0,816	0	0,82

### CONDUITE / C2

Q (l/s)	C <sub>HW</sub>	L(m)	D (m)	$\Delta H_T = 1,2. \Delta H_L$	$\Delta Z$	CR
0	120,00	1200,00	0,20	0,000	30	30,00
30	120,00	1200,00	0,20	8,309	30	38,31
40	120,00	1200,00	0,20	14,156	30	44,16
50	120,00	1200,00	0,20	21,399	30	51,40
60	120,00	1200,00	0,20	29,992	30	59,99
70	120,00	1200,00	0,20	39,901	30	69,90
80	120,00	1200,00	0,20	51,094	30	81,09
100	120,00	1200,00	0,20	77,238	30	107,24

### CONDUITE / C3

Q (l/s)	CHW	L(m)	D (m)	$\Delta H_T = 1,2. \Delta H_L$	$\Delta Z$	CR
0	120,00	550,00	0,20	0,000	45	45,00
30	120,00	550,00	0,20	3,808	45	48,81
40	120,00	550,00	0,20	6,488	45	51,49
50	120,00	550,00	0,20	9,808	45	54,81
60	120,00	550,00	0,20	13,747	45	58,75
70	120,00	550,00	0,20	18,288	45	63,29
80	120,00	550,00	0,20	23,418	45	68,42
100	120,00	550,00	0,20	35,401	45	80,40

Maintenant, il faut prendre une feuille de papier millimétré et dessiner les 4 courbes  $CR = f(Q)$  de chaque conduite. Après cela, on peut commencer le groupement des conduites.

- $C0 \sum C1 = C'$
- $C2 // C3 = C''$
- $C' \sum C'' = C_{eq}$

