CHAPITRE V

Réseau de distribution

Introduction :

Le réseau de distribution est l'ensemble des canalisations qui assure la distribution le l'eau. En premier lieu, l'eau sort du réservoir par une seule conduite qui se prolonge à travers l'agglomération en formant une conduite maîtresse et sur laquelle sont branchée des conduites de diamètre moindres, dites secondaire, tertiaires…etc.

Mais si l'agglomération est importante, il est préférable de prévoir plusieurs conduites maîtresses obtenues par la subdivision à l'entrée de conduite maitresse principale.

Le système doit assurer la fonction à **"transport"** du point d'eau mobilisée jusqu'aux points de distribution, ainsi que la fonction **"mise en pression"** et **"stockage"** avec une fiabilité suffisante.

Les réseaux de distribution peuvent être classés comme suit :

- **Les réseaux ramifiés**
- **Les réseaux maillés**

Le réseau ramifié dans lequel les conditions de desserte ne comportent aucune alimentation de retour, présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture, un accident sur la conduite principale prive les abonnées en aval.

On les appelle ainsi grâce à leur structure arborisant, fréquemment utilisés dans les petites agglomérations rurales, dans notre étude nous utilisons ce type de réseaux, juste comme exemple, pour alimenter la zone **C**.

Par contre **le réseau maillé** permet une alimentation en retour et donc il évite l'inconvénient du réseau ramifié, une simple manœuvre de vanne permet d'isoler le tronçon endommage. Pour la distribution en eau des agglomérations de moyenne et de grande importance, ils présentent une solution plus adéquate grâce à leur sécurité et leur souplesse d'utilisation. Ils sont utilisés en général dans les zones urbaines.

Les réseaux maillés sont constitués principalement d'une série de canalisation disposée de telle manière qu'il soit possible de décrire des boucles fermées ou maillées comme nous allons voir dans les autre Zones **A**, **B** et **D.**

V.1 Conception d'un réseau de distribution: [8]

Plusieurs facteurs ont une influence sur la conception du réseau :

- L'emplacement des quartiers.
- L'emplacement des consommateurs principaux.
- Le relief.
- Le souci d'assure un service souple et régulier.

V.2 Principe de tracé d'un réseau de distribution :

Pour tracer le réseau, il y a un certain nombre de conditions qu'il faut respecter:

- Choisir le lien de consommation principale.
- Déterminer le sens principal de masse ou des quantités totales d'eau.
- Tracer les conduites maîtresses, ces conduites doivent être situées sur les cotes géodésiques les plus élevées pour bien répartir l'eau.
- Tracer les conduites maîtresses à travers les quartiers et prévoir les lignes secondaires.

V.3 Choix du type de matériaux :

Il existe plusieurs types des matériaux destinés à la fabrication des conduits de distribution. Chaque type a des caractéristiques et paramètres spécifiques. On trouve :

- Acier
- Fonte
- PVC **(Polychlorure de Vinyle non plastifié)**
- PEHD **(Polyéthylène Haute Densité)**

Le type de matériau utilisé dépend de plusieurs paramètres bien détermines. Pour notre réseau, on peut citer les paramètres suivants :

- La pression de services supportés ;
- Les conditions de pose ;
- Le prix ;
- La durée de vie ;
- Disponibilité sur le marché ;

On a choisi des conduites en PEHD car elles présentent les avantages suivants :

- Etanchée totale et durable ;
- Perte de charge négligeable ;
- Une très bonne résistance à des pressions élevées et à la corrosion ;
- Très longue durée de vie ;
- Installation facile.

Les conduites en **PEHD** sont assemblées soit par un joint d'emboîtement ou l'étanchéité est assurée par collage à froid par élastomère, soit par un joint de marchons avec élastomère. Les différents dimensions des conduites existantes sont représentées sur le tableau V.1.

Type	Ø ext	Epaisseur	Ø int
PEHD PN 10	25	2,00	21
	40	3,00	34
	50	3,70	42,6
	63	4,70	53,6
	75	5,60	63,8
	90	5,40	79,2
	110	6,60	96,8
	125	7,40	110,2
	160	9,50	141
	200	11,90	176,2
	250	14,80	220,4
	315	18,70	277,6
	400	23,70	352,6
	500	29,70	440,6
	630	37,40	555,2

Tableau V.1 : Les diamètres existant en PEHD PN10

V.4 Équipement du réseau de distribution :

V.4.1 Type de canalisation :

Le réseau de distribution sera constitué d'un assemblage de tuyaux en PEHD, les diamètres utilisés varient entre 40mm et 315 mm.

V.4.2 Appareils et accessoires du réseau :

Les accessoires envisagés pour l'équipement du réseau de distribution sont les suivants :

V.4.2.1 Robinets vannes :

Ils sont placés au niveau de chaque nœud, et permettent l'isolement des différents tronçons du réseau lors d'une réparation sur l'un d'entre eux.

Ils permettent ainsi de régler les débits, leur manœuvre s'effectue à partir du sol au moyen d'une clé dite « béquille ».

V.4.2.2 Bouches ou poteau d'incendie :

Les bouches ou les poteaux d'incendie doivent être raccordés sur les conduites capables d'assurer un débit minimum 16 l/s avec une pression de 10 m (1 bar).

Ces derniers seront installés en bordure des trottoirs espacés de 50 à 200 m et répartis suivant l'importance des risques imprévus.

V.4.2.3 Clapets :

Les clapets ont un rôle d'empêcher l'eau de revenir en sens contraire de l'écoulement prévu.

V.4.2.4 Ventouses :

Les ventouses sont des organes qui sont placés aux points le plus hauts du réseau pour réduire la formation du vide dans les installations hydraulique.

V.4.2.5 Robinets de vidange :

Ce sont des robinets placés aux endroits des points les plus bas du réseau de distribution pour permettre la vidange qui sera posé à l'intérieur d'un regard en maçonnerie.

V.4.2.6 Bouche d'arrosage :

Ce sont des bouches situées aux alentours des jardins.

V.4.2.7 Pièces spéciales de raccord :

- **les Tés** : utilisés pour le raccordement des canalisations secondaires sur la canalisation principale.
- **les coudes** : utilisés en cas de changement de direction.
- **les cônes de réduction :** ce sont des organes de raccord en cas de changement de diamètre.

V.4.2.8 Réducteurs de pression :

Ce sont des éléments conçus pour réduire les pressions et minimiser les dégâts.

V.5 Calcule hydraulique :[8]

V.5.1 Débit spécifique:

Pour le déterminer , on admet l'hypothèse selon laquelle les besoins domestiques sont répartis régulièrement sur la longueur des réseaux de distribution, pour cette raison on a calculé le débit spécifique à partir de la relation :

$$Q_{spi} = {Q_p - Q_{conc}}/{\sum L_i} \quad (1)$$

- Q_{spi} : Débit spécifique.
- Q_p : Débit de point.
- Q_{conc} : Débit concentrée qui égale à $\mathbf{0\ l/s.}$
- $\sum L_i$: La somme des longueurs totale des tronçons.

V.5.2 Débit en route :

Le débit en route de chaque tronçon est le débit uniformément réparti sur son parcours, il est donné par la formule suivante :

$$Q_{rot} = Q_{spi} * L_i \quad (2)$$

- Q_{rot} : Débit en route.
- L_i : La longueur de tronçon **i**.

V.5.3 Débit aux nœuds :

Les débits aux nœuds sont des débits concentrés a chaque nœud. Ce débit est égale a la moitie de la somme des débits de route des tronçons qui sont lié a cet nœud.

$$\boldsymbol{Q_{nod} = \frac{1}{2}\sum Q_{rot} + Q_{conc}} \quad (3)$$

- $\boldsymbol{Q_{nod}}$: Débits aux nœuds.

Le tableau suivant résumé Les caractéristiques de chaque Zone :

Zone	Type de réseaux	Débit de point *(l/s)*	Longueur total des tronçons *(m)*	Nombre des nœuds	Nombre des tronçons
A	Maillée	52,92	18767,50	215	217
B	Maillée	48,02	7652,25	84	85
C	Ramifiée	21,42	4363,00	58	61
D	Maillée	26,41	7355,50	77	79

Tableau V.2 : Caractéristique des réseaux

Les résultats des calculs sont sur **Annexe I.**

V.6 Méthode de calcul :

La méthode utilisée dans les calculs du réseau de distribution est celle de **HARDY-CROSS**. Pour déterminer les corrections des débits dans les conduites, la correction est basée sur deux hypothèses :

- **La première** : Loi de nœud **(1ere loi de KIRCHOFF).** En un nœud quelconque d'une maille, la somme des débits entrants est égale à la somme des débits sortants.

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{ent} = \sum_{i=1}^{n} Q_{sor} \quad (4)$$

- **La deuxième** : Loi de la maille **(2eme loi de KIRCHOFF).** La somme des pertes de charge dans une maille est nulle.

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta H_i = \sum_{i=1}^{n} R_i * Q_i^2 = 0 \quad (5)$$

$$\Delta H = R * Q^2 = 0 \quad (6)$$

Avec :

- $\boldsymbol{\Delta H}$: perte de charge totale.
- $\boldsymbol{Q}$: Le débit qui traverser les conduits.
- $\boldsymbol{R}$: La résistance des conduits.

V.6.1 Détermination de résistance de conduite R :

D'après la formule de **Darcy-Weisbakh** la perte de charge sera calculée comme suit :

$$J = \lambda * V^2 \, {}^{L}/_{(2 * g * D)} \tag{7}$$

Avec :

- J **:** gradient de perte de charge ***(m/ml)*** ;
- D : Diamètre du conduit ***(m)*** ;
- V : La vitesse d'écoulement ***(m/s)*** ;
- L : Langueur du conduit en ***(m)*** ;
- λ : coefficient de frottement en fonction de la rugosité des parois de conduit.

Pour déterminer λ, on utilise la formule de **Colebrook** :

$$ {}^{1}/_{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{\lambda}}\right) \tag{8}$$

Avec :

- ε : La rugosité absolue du conduit.
- R_e : Nombre de **Reynold**.

$$R_e = V * {}^{D}/_{\nu} \tag{9}$$

- ν : La viscosité cinématique de l'eau

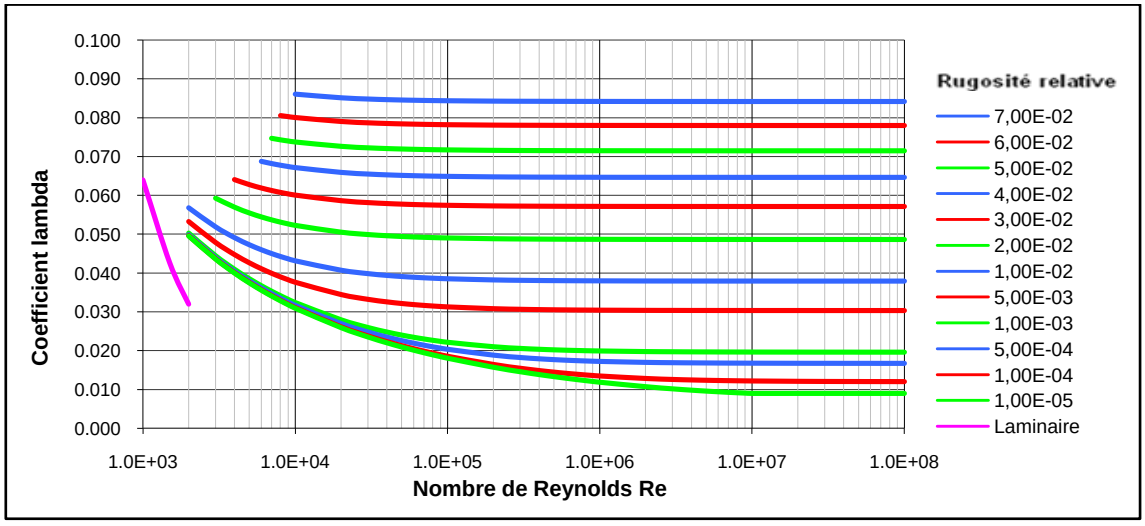

Fig V.1 : Courbe de rugosité relative

On remplace la vitesse dans la formule de **Darcy-Weisbakh** (7) avec (10) :

$$V = {}^{4 * Q}/_{\pi * D^2} \tag{10}$$

La formule de **Darcy-Weisbakh** devient comme suit :

$$J = \lambda \left({}^{4\,Q}/_{\pi\, D^2} \right)^2 {}^{L}/_{(2\, g\, D)}$$

$$J = 8\,\lambda\, L\, {}^{Q^2}/_{g\, \pi^2\, D^5}$$

$$J = R\, Q^2$$

$$R = {}^{8\,\lambda\, L}/_{g\, \pi^2\, D^5} \qquad (11)$$

V.6.2 Pertes des charges selon la formule de Hazen-Williams :

La variation de coefficient de **Hazen-Williams** (C_{HW}) en fonction de la rugosité est formulé comme suit :

$$J = 10.69\, ({}^{Q}/_{C_{HW}})^{1.852} / D^{4.871} \qquad (12)$$

Avec:

- C_{HW} : Coefficient de **Hazen-Williams**.

Sur le tableau V.3 , on représente le coefficient de rugosité selon la nature du matériaux.

Coefficient / Matériau	C_{HW} Hazen-Williams	ε Darcy-Wisbach	n Maning
Fonte revêtue	130-140	0,25	0,012-0,015
Plastic	140-150	0,0015	0,011-0,017
Acier	140-150	0,03	0,015-0,017

Tableau V.3 : Le coefficient de rugosité

V.6.3 Pertes de charge singulières :

On considère généralement que les pertes de charge singulières sont égales à 20% des pertes de charge linéaires.

Dans notre cas on prend : $\Delta H_s = 20\% \Delta H_L$

$$\Delta H_s = 0.2\, \Delta H_L$$

La perte de charge totale sera donnée par les formules suivantes :

$$\Delta H_T = \Delta H_L + \Delta H_S$$

$$\Delta H_T = 1.2\, \Delta H_L$$

Avec :

- ΔH_T : Perte de charge totale ***(m) ;***
- ΔH_S: Perte de charge singulière ***(m) ;***
- ΔH_l: Perte de charge linéaire ***(m) .***

Finalement on trouve :

$$\Delta H_T = 1.2\ J * L \quad (13)$$

- $\boldsymbol{L}$: Longueur géométrique ***(m).***

V.6.4 Calcul des pressions de service du réseau (au sol) :

Pour que notre réseau soit réalisable, il faut qu'il assure la pression minimale en tous points de notre surface à alimenter.

En pratique la pression de service peut être assurée dans une fourchette de 10 à 60 mètres de colonne d'eau c'est-à-dire de 1 à 6 bars.

Connaissant les cotes des différentes extrémités des divers tronçons de notre réseau, ainsi que leurs pertes de charge, nous pouvons déterminer les pressions exercées au sol, telle que :

$$P_S = C_P - C_T \quad (14)$$

Avec :

- $\boldsymbol{P_S}$: Pressions au sol ;
- $\boldsymbol{C_P}$ **:** Cote piézométriques ;
- $\boldsymbol{C_T}$ **:** Cote de terrain naturel.

V.6.5 Calcul de débit correctif :

Ce calcul se fait par la méthode itérative jusqu'à avoir un bon résultat.

$$\boldsymbol{Q_1 = Q_0 + \Delta Q_0}$$

- $\boldsymbol{Q_0}$: Débit supposé ;
- $\boldsymbol{Q_1}$: débit corrigé ;
- $\Delta \boldsymbol{Q_0}$: débit correctif.

$$\boldsymbol{\Delta Q_0 = \sum RQ_0^2 / 2 \sum RQ_0}$$

On a:

$$\boldsymbol{\Delta H_T = RQ_1^2 = R(Q_0 + \Delta Q_0)^2}$$

$$\boldsymbol{\sum R(Q_0 + \Delta Q_0)^2 = 0}$$

$$\boldsymbol{\sum R(Q_0^2 + Q_0 \Delta Q_0 + \Delta Q_0^2) = 0}$$

ΔQ_0 est très petit par rapport à Q_0 ;

Chaque maille est calculée séparément, les corrections apportées aux débits sont :

- correction propre à la maille considérée avec le même signe ΔQ_i
- correction propre aux mailles adjacentes avec le signe contraire de ΔQ.

Il suffit de faire la somme algébrique de ces corrections pour chaque tronçon et l'ajouter au débit Qi pour avoir le débit Q_{i+1}.

Ces approximations pour chaque tronçon on l'ajouter au débit Q_i pour avoir le débit Q_{i+1}.

La progression de l'outil Informatique a réduit le temps de calcul au minimum et éliminer le calcul manuel. On peut citer ***Microsoft office Excel*** comme un logiciel de calcul itératif. Mais le logiciel le plus répandue c'est le logiciel ***EPANET***.

V.7 Simulation et calcul du réseau par logiciel *EPANET* : [9]

V.7.1 Présentation du logiciel :

V.7.1.1 Définition :

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs.

EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples: définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, calage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance. **EPANET** offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple:

- Utilisation en alternance des différentes ressources du système ;
- Modifier le régime de pompage ou de marnage des réservoirs ;
- Planifier l'entretien et le remplacement de certaines canalisations.

Disponible sous Windows, **EPANET** fournit un environnement intégré pour l'édition de données de réseau, pour l'exécution de simulations hydrauliques et de simulations qualité, et pour l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques).

V.7.1.2 Capacités pour la Modélisation Hydraulique :

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. **EPANET** contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes:

- Diagnostic du système actuel d'AEP.
- La taille du réseau étudié est illimitée.
- Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de **Hazen-Williams**, **Darcy-Weisbach**, et **Chezy-Manning**.
- Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.
- Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti-retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir).

V.8 Résultat et discutions :

V.8.1 Cas des nœuds :

Les résultats de calcul par logiciel **EPANET** après la simulation est résumé par **Annexe II** pour les prissions aux nœuds, et **Annexe III** pour les vitesses, les débits,les pertes des charges et les diamètres des tronçons.

Après analyse des résultats de simulation on les a résumés graphiquement (**voir Fig.2**)

Pressions :

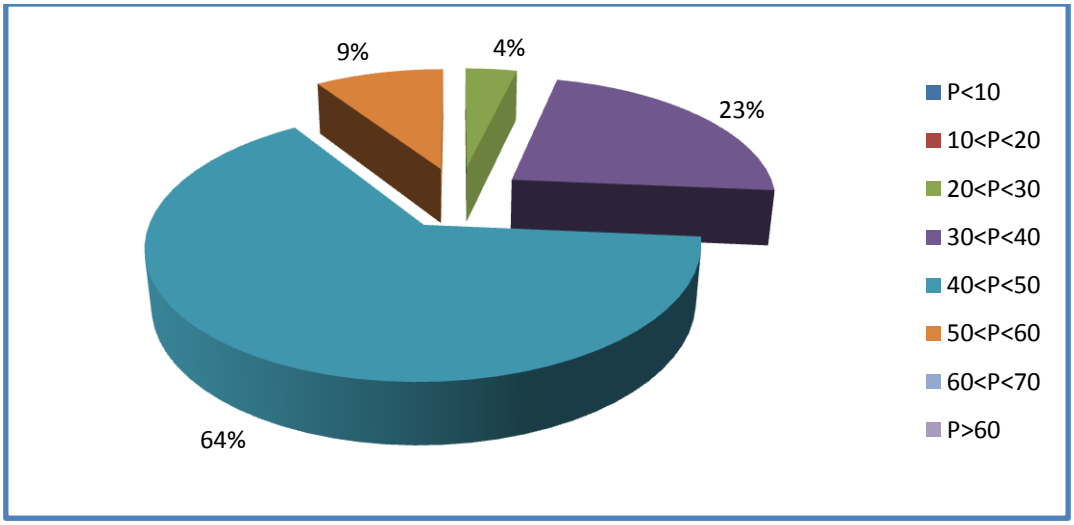

Fig V.2 : Les pressions aux nœuds pour la zone A

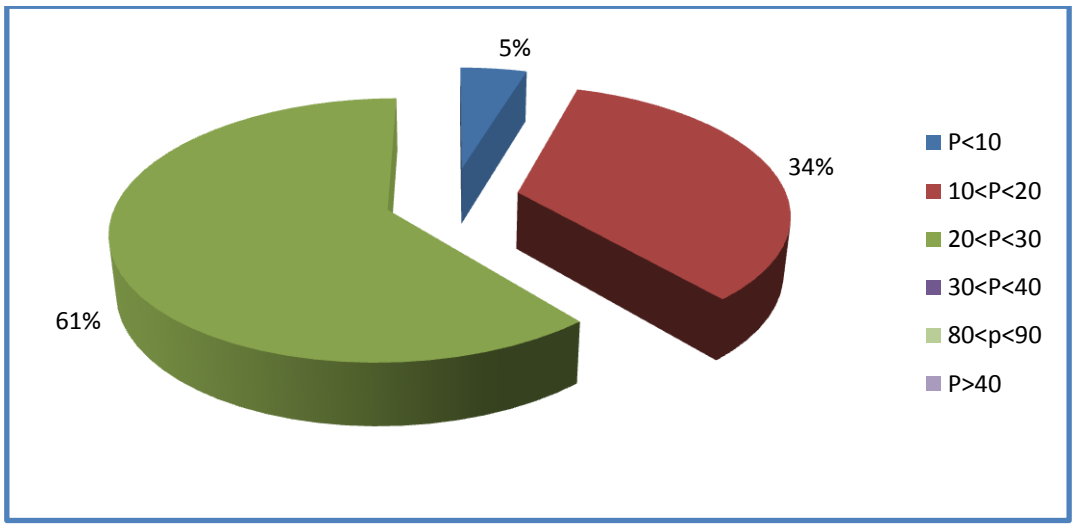

Fig V.3 : Les pressions aux nœuds pour la zone B

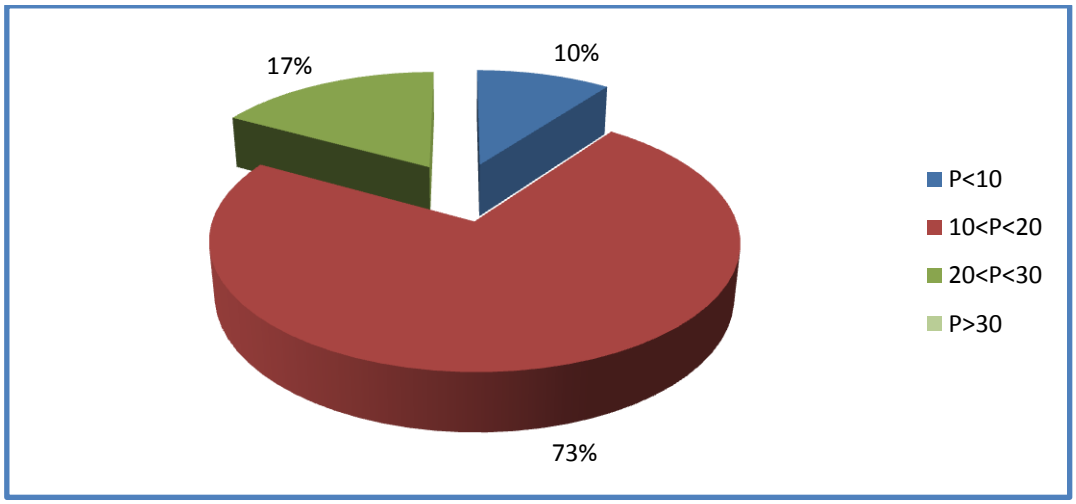

Fig V.4 : Les pressions aux nœuds pour la zone C

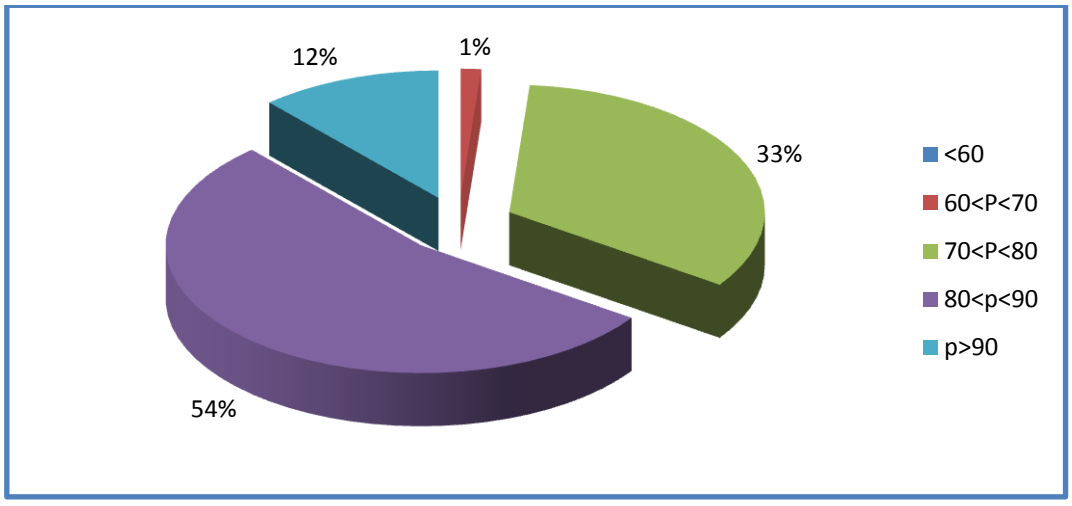

Fig V.5 : Les pressions aux nœuds pour la zone D

On remarque que les pressions sont dans les normes pour les Zones **A, B** et **C**, mais dans la zone **D** en remarque que les pressions sont très élevées. Pour cela on a proposé la solution de réduire les pressions par un **réducteur de pression.** Ces caractéristiques comme suivants :

- **Diamètre : 250 mm.**
- **Consigne de réduction : 5 bars.**

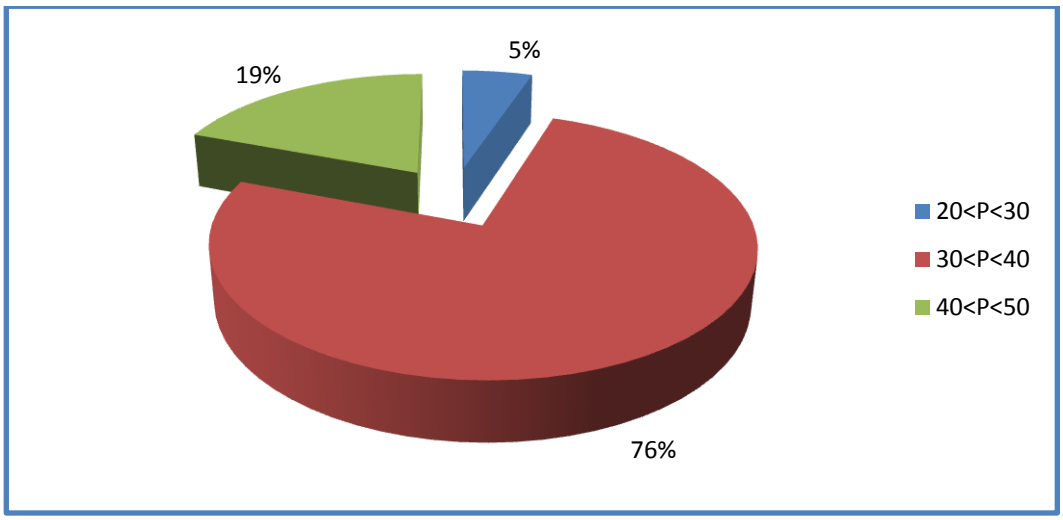

Fig V.6 : Les pressions aux nœuds pour la zone D après introduction des réducteurs

Les résultats de simulation sont résumés dans l'**Annexes VII** après introduction des réducteurs de pressions.

Résultats des Vitesses :

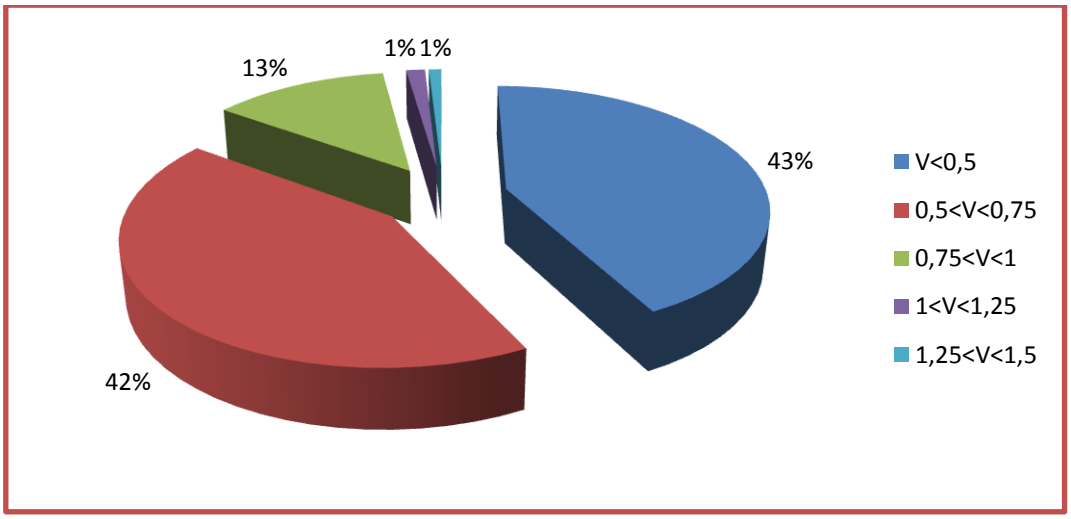

Fig V.7 : les vitesses dans les conduites pour la Zone A

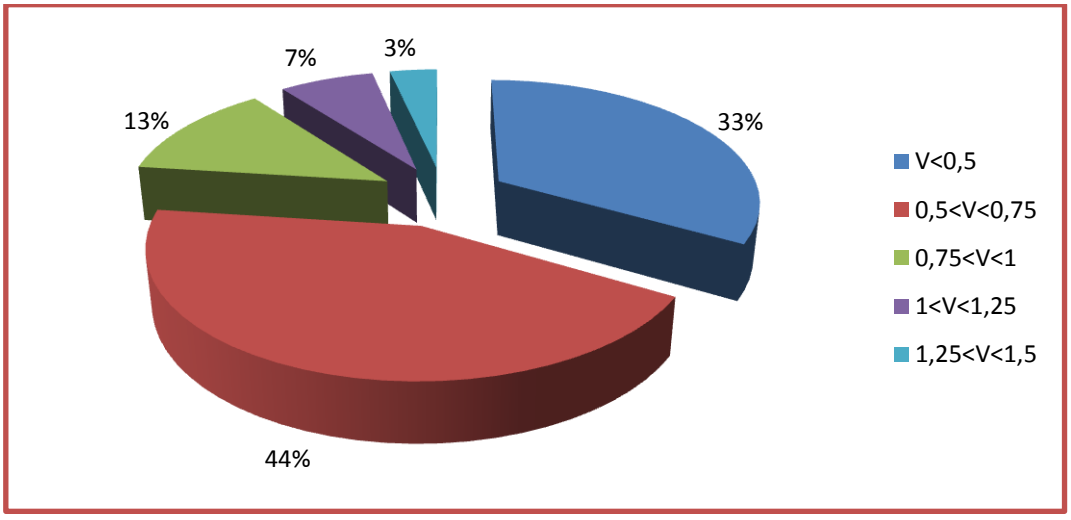

Fig V.8 : les vitesses dans les conduites pour la Zone B

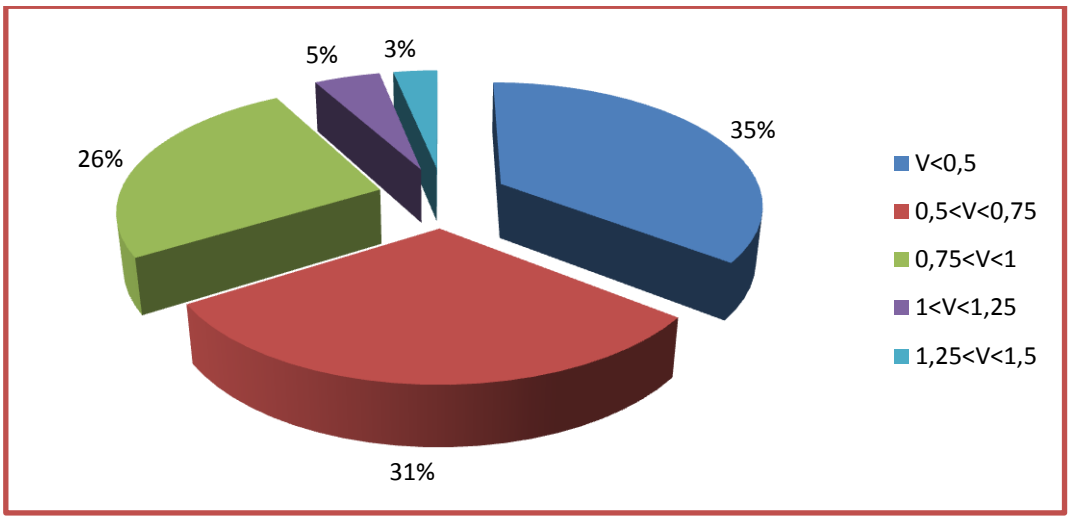

Fig V.9 : les vitesses dans les conduites pour la Zone C

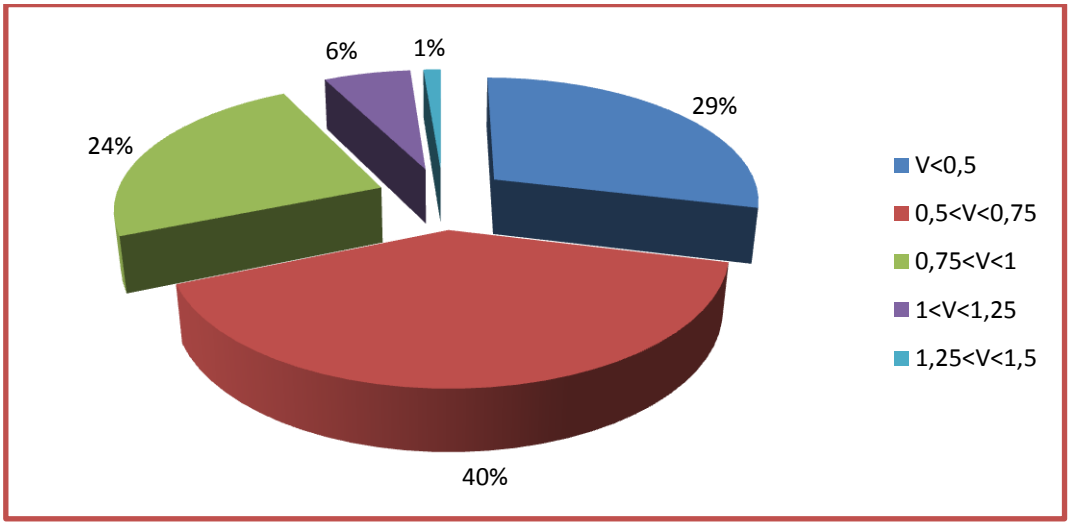

Fig V.10 : les vitesses dans les conduites pour la Zone D

Pour les vitesses : on remarque que les vitesses sont dans les normes dans les conduites maîtresses, mais dans la plus-part des conduites de ramification la vitesse est un peut faible.

V.8.2 Cas de pointe plus incendie :

On prévoit réglementairement que l'extinction d'un incendie moyen nécessite un débit de 60 m^3/h, soit 16,67 l/s pendant une durée de deux heures. Le débit prévu nécessite réglementairement des bouches et tuyauteries d'un diamètre minimal égal à 80 mm. (**Annexe IV)**

Les résultats des calculs par le logiciel **EPANET** après la simulation sont résumés dans les **Annexes V** pour les pressions aux nœuds, et **Annexe VI** pour les vitesses, les débits, les pertes des charges et les diamètres des tronçons.

Résultats des Pressions :

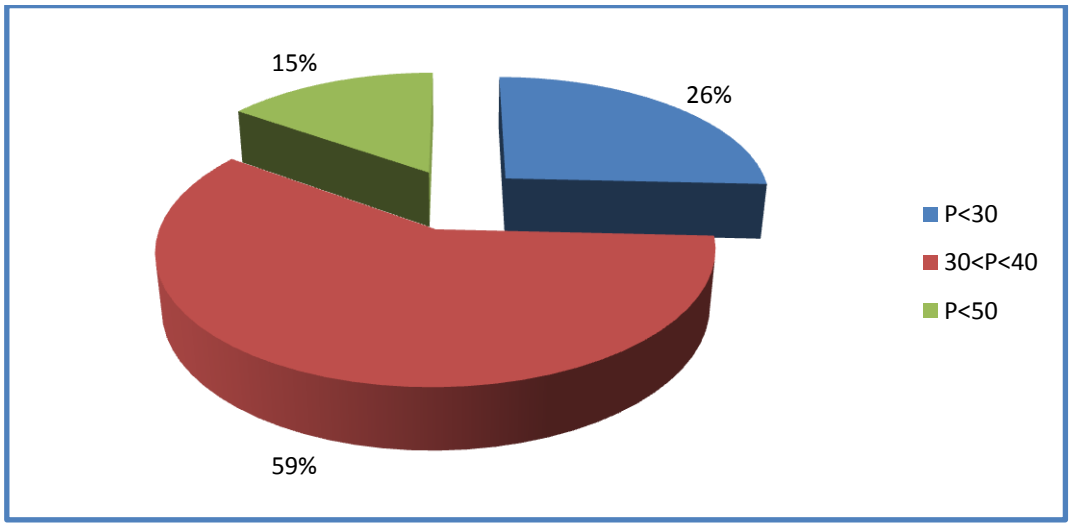

Fig V.11 : Les pressions aux nœuds pour la zone A

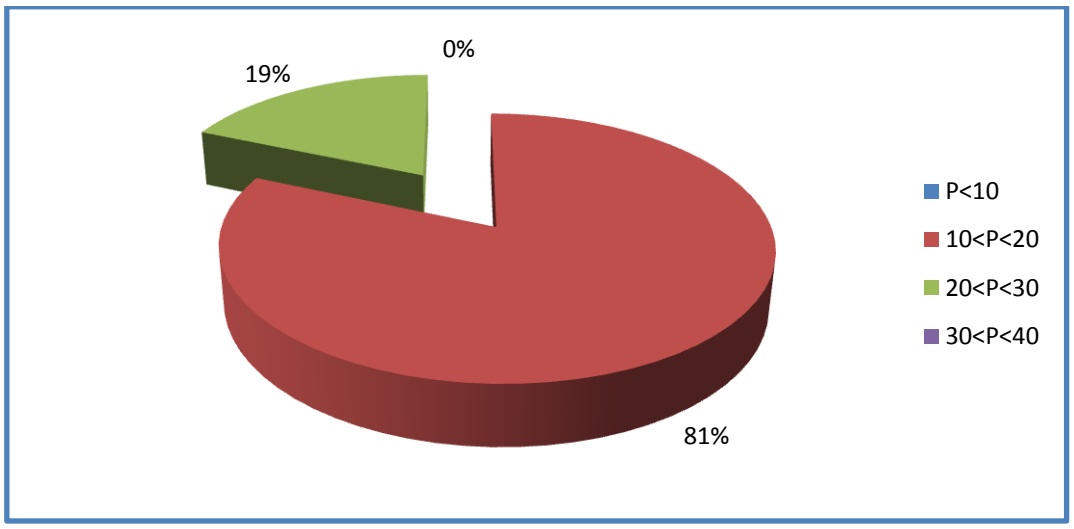

Fig V.12 : Les pressions aux nœuds pour la zone B

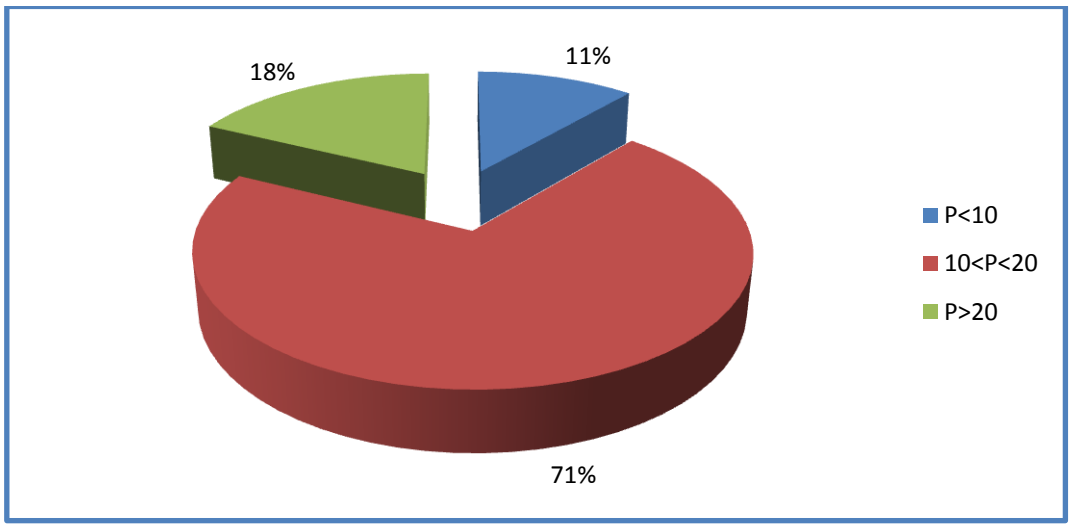

Fig V.13 : Les pressions aux nœuds pour la zone C

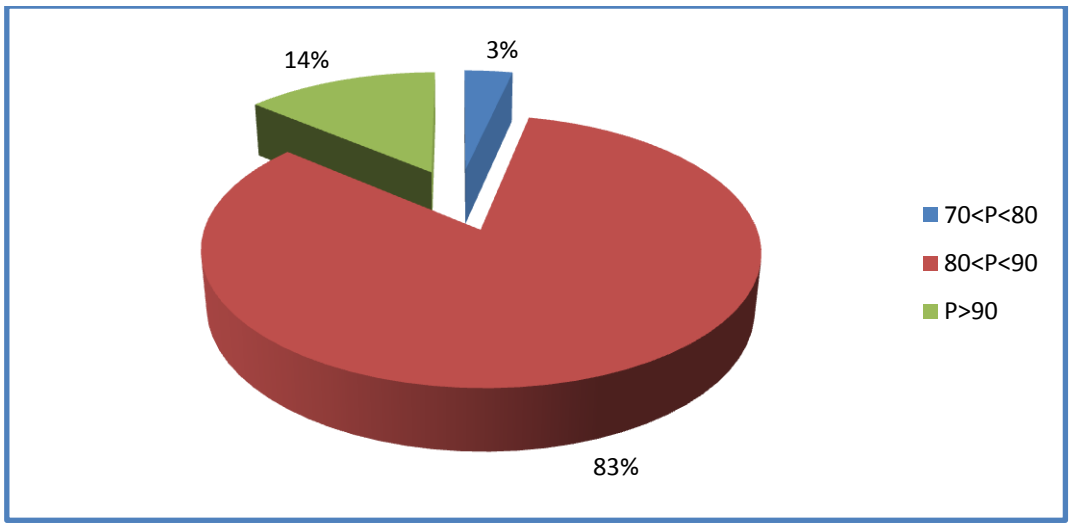

Fig V.14 : Les pressions aux nœuds pour la zone D

Résultats des Vitesses :

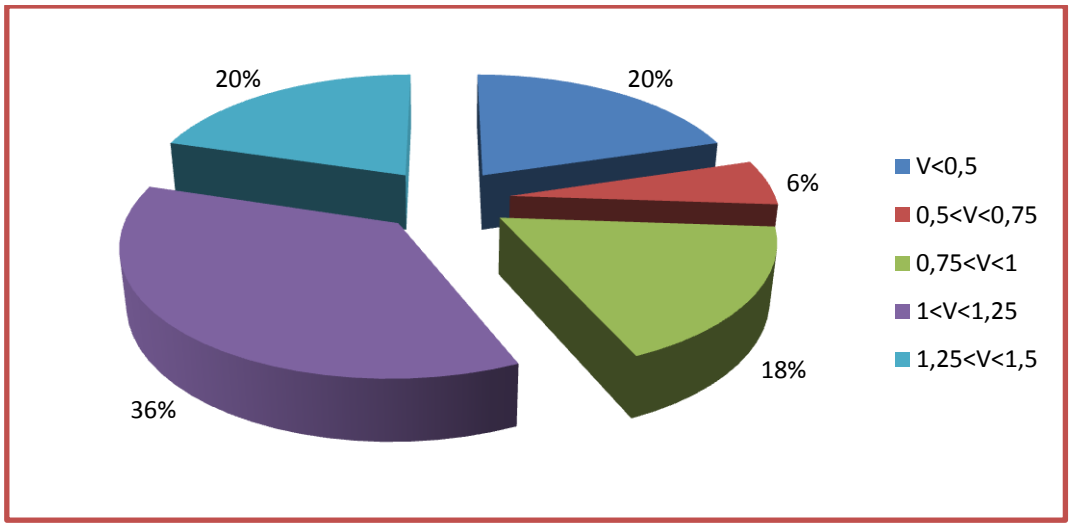

Fig V.15: les vitesses dans les conduites pour la Zone A

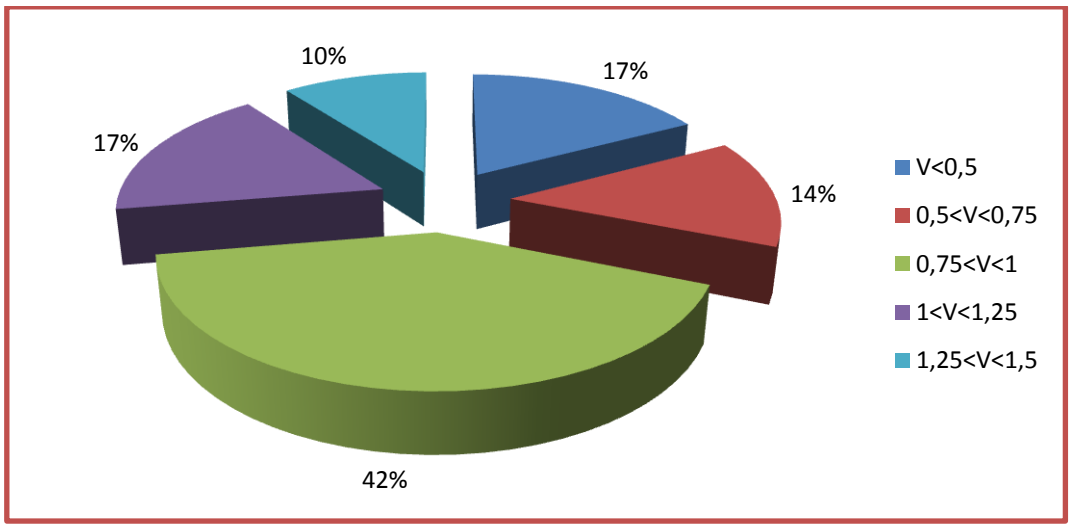

Fig V.16: les vitesses dans les conduites pour la Zone B

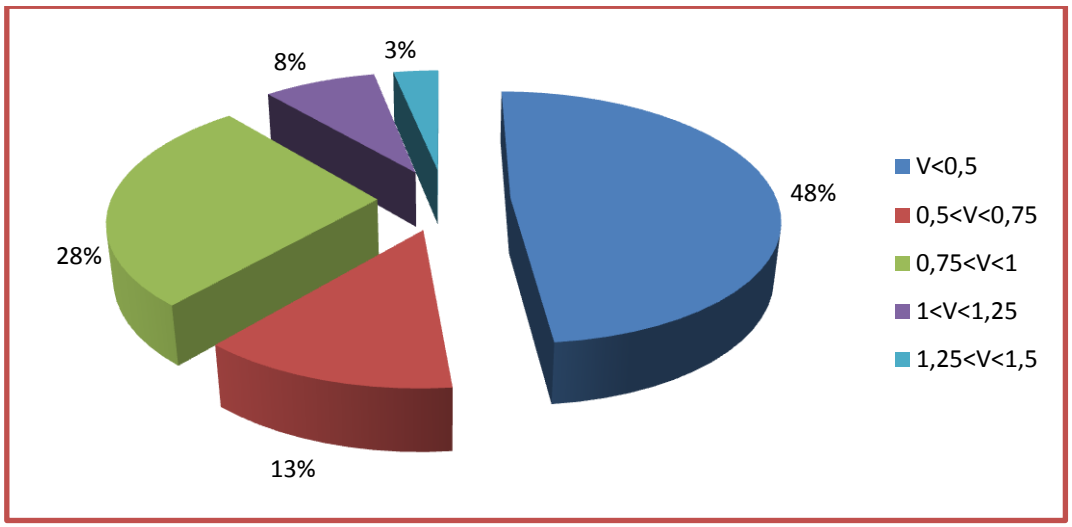

Fig V.17: les vitesses dans les conduites pour la Zone C

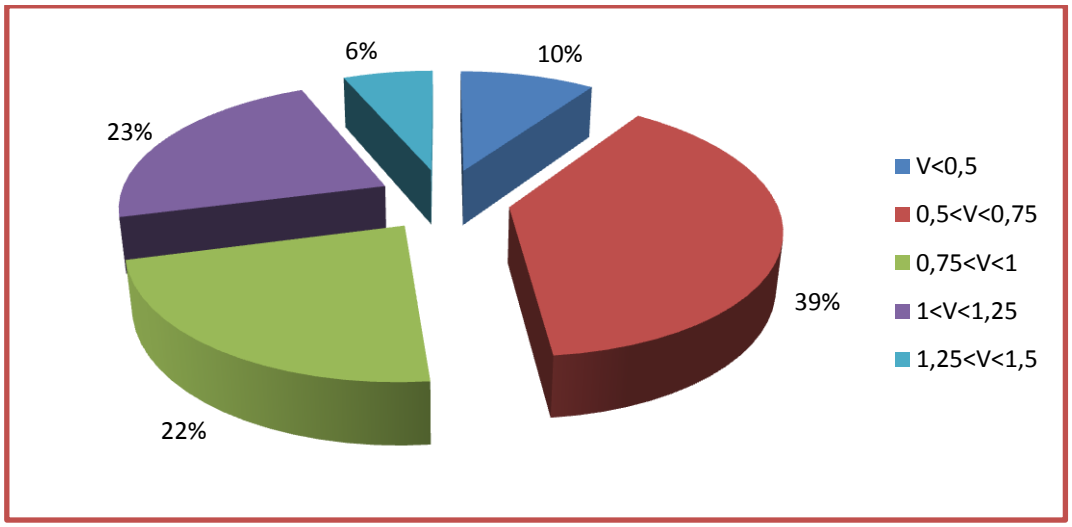

Fig V.18: les vitesses dans les conduites pour la Zone D

Remarque :

Touts les figures des réseaux des distributions ce trouvent dans ***l'Annexe des Figures***

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons réhabilités les réseaux de distribution pour chaque zone, nous avons constatés des pressions défavorables (supérieures aux normes) au niveau de la Zone D. Pour cela on propose de mettre des régulateurs de pression au niveau du nœud D afin d'envisager une réduction de la pression d'environ 5 bars.