



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Licence

Filière : physique
Option : physique énergétique

THÈME :

L'entartrage et colmatage de l'écoulement
dans la conduite de l'eau

Préparé par :- Mani Asma
-Aissi Ibtissem
- Maousi Sarah

Devant le jury :

Rapporteur : Dawdi Salim

Année Universitaire 2015

Remerciements

Avant tout propos, nous remercîe Allah le Tout-Puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour pouvoir élaborer ce travail et le présenter.

En effet, le présent mémoire de licence n'aurait pu avoir le jour sans la contribution de nombreuses personnes, dont je me fais aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercîer.

Je suis reconnaissant à mon encadreuse Dawdí qui m'a aidée à progresser dans ma recherche grâce à ses conseils, son esprit critique et son soutien tout long de la réflexion de cette recherche. Et qui a bien voulu assurer le suivi de mon étude à travers son encouragement et ses précieux conseils qui m'ont été très utiles dans l'élaboration de cette recherche.

Je tiens à remercîer vivement tous mes Enseignants de l'université qui nous ont aidés à l'accumulation des connaissances nécessaires durant le cursus universitaire.

Finalement, je remercîe vivement les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

MERCI

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail tout spécialement aux être les plus chers à mon cœur, aux deux personnes qui n'ont bien éduqués et mon toujours entouré d'amour et de soutien, mon très cher père (Ahmed) et ma mère adorable (Aicha) la plus plus cher dans ma vie.

A mes très chers sœur : Meriem, Imen, Saadia

A mes très chers frères : Abd baki, Hassem (zizo)

A toute la famille.

A la fleur la plus belle dans ma vie, à qui donne à moi l'aide morale et physique, à qui est avec moi dans tout les moments, à ma vie, à ma cher, à mes yeux, à mon cœur Ibtissem

A mes chere

amis :

chaimaN, Bassouma, hoda, Fatima, widad, Lamia, sara ch, sara o, sarah, saliha

mereim, zineb, amina saghrouni.

Et surtout à mon cher ami

« walid , hamid, abdou, bilel , azzidine, ibrahim »

A tous mes collègues de spécialité physique des matériaux et à tous mes enseignants.

ASMA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail tout spécialement aux être les plus chers à mon cœur, aux deux personnes qui n'ont bien éduqués et mon toujours entouré d'amour et de soutien, mon très cher père (Djamel) et ma mère adorable (Zinebe) la plus plus cher dans ma vie.

A mes très chers sœur : Monira, Menal

A mes très chers frères : Farouk, Alarbi, Islem

A toute la famille.

A la fleur la plus belle dans ma vie, à qui donne à moi l'aide morale et physique, à qui est avec moi dans tout les moments, à ma vie, à ma cher, à mes yeux, à mon cœur Asma

A mes chers amis : Asma, chaima N, Ahlem, Fatima, Amel, zozo,

Saliha, Meriem, Sarah, Amina sagrouni.

A marée de mon frère Hada

Et surtout à mon cher ami

« hamid , walid, ibrahim, bilel, azedine, abdou, ward »

A tous mes collègues de spécialité physique des énergétiques et à tous mes enseignants.

IBTISSEM



Dédicaces

Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

A celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage.

Je ne pourrais jamais imaginer ma vie sans lui.

*Que dieu le garde, le protège et lui offre une vie pleine de bonheur et de succès, merci **papa « Azzedine »***

*qui a inséré le gout de la vie et le sens de la responsabilité
maman « Khawkha »*

*Et bien sur mon grand mère : **Hadda***

*A ma cher frères : **Taki***

*A mes chères sœur : **Khalida, Nada, Imane, Acile***

*A mes oncles et ses femmes, mes tantes et **mes cousins et mes cousines***

*A toute la famille **Maouassi et Si Mohamed***

*A mes chères amies : **kaltoum, Hadjer, Lamia, Fayza et son marie,
Asma, Ibtissame, Soria et samona***

Toutes mes collègues de physique énergétique

Sarah Maouassi

Liste de diagramme:

Diagramme (II-1): la variation de vitesse (v) en fonction de diamètre(d).

Diagramme (II-2) : la variation de pression (P) en fonction de diamètre (d).

Diagramme (II-3) : perte de charge linéaire en fonction de diamètre.

Diagramme (II-4) : La variation de la perte singulière(J_s) en fonction de diamètre(d).

Diagramme (II-5) : conséquences du tartre sur l'installation hydraulique.

Liste de tableau :

Tableau (I-1) : valeur de la viscosité dynamique (μ) et la viscosité cinématique(ν) .

Tableau (I-2) : Les valeurs de rugosité moyenne de conduite commerciale.

Tableau (I-3) : La géométrie de la conduite et les valeurs de (k).

Tableau (III-1) : Les concentrations admissible dans l'eau.

Liste de figure :

Figure (I-1) : répartition de la vitesse entre deux plaques en régime laminaire.

Figure (I-2) : schéma explique la relation fondamentale d'hydrostatique.

Figure (I-3) : conduite à section variable.

Figure (I-4) : schéma explique le théorème Bernoulli.

Figure (I-5) : écoulement est de laminaire.

Figure (I-6) : écoulement et tourbillon.

Figure (I-7) : représentation graphique de plan de charge et le plan de référence.

Figure (I-8) : Régime d'une conduite.

Figure (II-1) : conséquence de l'entartrage.

Figure (II-2) : Impact de l'entartrage sur les conduites de l'eau potable.

Figure (II-3) : conséquences de l'entartrage.

Figure (III-1) : opération de l'adoucissement de l'eau.

Figure (III-2) : les échanges des ions de l'eau dure dans l'eau douce.

Figure (III-3) : phase d'adoucissement de l'eau par résines échangeuses.

Figure (III-4) : fonctionnement de l'adoucissement d'eau.

Figure (III-5) : système d'adoucisseur.

Figure (III-6) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (détassage).

Figure (III-7) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (saumure).

Figure (III-8) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (le rinçage lent).

Figure (III-9) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (le rinçage rapide).

Liste de figure :

Figure (I-1) : répartition de la vitesse entre deux plaques en régime laminaire.

Figure (I-2) : schéma explique la relation fondamentale d'hydrostatique.

Figure (I-3) : conduite à section variable.

Figure (I-4) : schéma explique le théorème Bernoulli.

Figure (I-5) : écoulement est de laminaire.

Figure (I-6) : écoulement et turbinant.

Figure (I-7) : représentation graphique de plan de charge et le plan de référence.

Figure (I-8) : Régusite d'une conduite.

Figure (II-1) : conséquence de l'entartrage.

Figure (II-2) : Impact de l'entartrage sur les conduites de l'eau potable.

Figure (II-3) : conséquences de l'entartrage.

Figure (III-1) : opération de d'adoucissement de l'eau.

Figure (III-2) : les échanges des ions de l'eau dure dans l'eau douce.

Figure (III-3) : phase d'adoucissement de l'eau par réismes échangeurs.

Figure (III-4) : fonctionnement de l'adoucissement d'eau.

Figure (III-5) : système d'adoucisseur.

Figure (III-6) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (détassage).

Figure (III-7) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (saumure).

Figure (III-8) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne(le rinçage lent).

Figure (III-9) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne(le rinçage rapide).

Table des matières

Liste de diagramme

Liste de tableau

Liste de figure

Introduction générale..... (1)

CHAPITRE I : Rappel sur l'écoulement dans les conduites

I-1- Introduction.....	(2)
I-2- Définition de l'écoulement.....	(2)
I-3- Définition fluide parfait.....	(2)
I-4- Propriété des fluides.....	(2)
I-4-1- La masse volumique.....	(3)
I-4-2- Poids volumique.....	(3)
I-4-4- Viscosité	(3)
I-5- Statique de fluide.....	(5)
I-6- Dynamique de fluide.....	(6)
I-6-1- Ecoulement permanent.....	(6)
I-6-2- Conservation de masse	(6)
I-6-3- Conservation d'énergie.....	(7)
I-7- Régime des écoulements.....	(8)
I-8- Définition de conduit.....	(9)
I-9- Rugosité.....	(9)
I-10- Définition les pertes de charge	(10)
I-11- Les types de perte de charge.....	(10)
I-12- La forme des conduites.....	(12)
I-13- Conclusion.....	(13)

CHAPITRE II : Problème l'entartrage et colmatage

II-1- Introduction.....	(14)
II-2- Définition l'entartrage.....	(14)
II-3- D'efférent type de tartre	(14)
II-3-1- Tartre alcalin.....	(15)
II-3-2- Tartre non alcalin.....	(15)
II-4- Les effets de tartre sur les caractéristiques d'écoulement en fonction de diamètre..	(15)
II -5- Mécanisme de l'entartrage	(18)
II -5-1- La présence de calcaire dans l'eau	(18)
II -5-2- La température de l'eau.....	(18)
II-6- Causes et conséquences de l'entartrage	(18)
II-6-1- Les causes.....	(18)
II-6-2- Les Conséquences.....	(18)
II-6-2-1-Conséquences hydrauliques.....	(19)
II-6-2-2 - Conséquences technologiques	(19)
II-6-2-3- Conséquences énergétiques et thermique	(20)
II-7-Définition de colmatage	(20)
II-8-Les conséquences.....	(20)
II-9-Conclusion.....	(20)

CHAPITRE III : Adoucissement de l'eau

III-1- Introduction	(22)
III-2- Les principaux éléments responsables de la dureté	(22)
III-3- Normes et recommandations.....	(23)
III-4- L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques.....	(23)
III-5-Adoucissement de l'eau	(23)
III-6-Fonctionnement d'un adoucisseur	(25)

III-7-Les différents types d'adoucisseur.....	(26)
III-8-L'adoucisseur	(27)
III-9- Les cycles d'adoucisseur	(28)
III-9-1- Le détassage.....	(29)
III-9-2-Aspiration saumure	(29)
III-9-3- Rinçage lent.....	(30)
III-9-4-Rinçage rapide.....	(30)
Conclusion générale.....	(35)

Indexe des termes utilisés

Bibliographie

Résumés

Introduction générale :

Tous les circuits des eaux sont confrontés au problème de l'entartrage et de formation de dépôts cristallins au niveau des parois en contact avec l'eau. Le tartre est une forme de couches de carbonate de calcium CaCO_3 et de carbonate de magnésium Mg(OH)_2 et d'autres éléments, se formant à partir d'une température de chauffage supérieure à 50 °C au niveau de la paroi interne du canal pouvant causer un bouchage partiel.

Les principaux problèmes qui résultent du dépôt sont les suivants :

- Invasion par le tartre des systèmes de production d'eau chaude (chaudières, échangeurs)
- Réduction du diamètre des conduites d'eau
- Réduction du transfert de chaleur à travers les parois.
- Bouchage des canalisations

L'entartrage est le phénomène des sels minéraux contenants dans l'eau qui a tendance à se former un dépôt de tartre sur les surfaces d'échanges et les parois des conduites.

Actuellement, il existe plusieurs méthodes utilisées pour éliminer le tartre et éviter la L'entartrage :

- Procède physique : l'adoucissement d'eau

L'objectif de ce travaille de recherche est l'étude de l'influence de l'entartrage sur les caractéristiques d'écoulement de l'eau dans les conduites. On fait dans le premier chapitre une rappelle de l'écoulement dans la conduite. Dans le deuxième chapitre étudie le problème de l'entartrage et colmatage de conduite de l'eau. Dans le dernier chapitre, en propose l'adoucissement de l'eau comme une solution de ce problème.

Chapitre I
Rappelle sur les
écoulements dans
les conduites

I-1- Introduction :

La mécanique des fluides est la science des lois de l'écoulement des fluides. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert des fluides. C'est une branche de la physique qui étudie les écoulements de fluides c'est-à-dire des liquides et des gaz lorsque ceux-ci subissent des forces ou des contraintes. Elle comprend deux grandes sous branches:

- la statique des fluides, ou hydrostatique qui étudie les fluides au repos. C'est Historiquement le début de la mécanique des fluides, avec la poussée d'Archimède et l'étude de la pression.
- la dynamique des fluides qui étudie les fluides en mouvement. Comme autres branches de la mécanique des fluides.

On distingue également d'autres branches liées à la mécanique des fluides tel que l'hydraulique, l'hydrodynamique, l'aérodynamique, ... Une nouvelle approche a vu le jour depuis quelques décennies est la mécanique des fluides numérique (CFD ou computational Fluid Dynamics en anglais), qui simule l'écoulement des fluides en résolvant les équations qui les régissent à l'aide d'ordinateurs très puissants : les supercalculateurs.

La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines comme l'ingénierie navale, l'aéronautique, mais aussi la météorologie, la climatologie ou encore l'océanographie. [1]

I-2- Définition de l'écoulement :

Un écoulement permanent est en outre uniforme lorsque la géométrie, la pente et la nature des parois restent inchangées et lorsque le tirant d'eau (y) garde une valeur constante. Un écoulement réellement uniforme se rencontre rarement dans les rivières, à section et pente constante. C'est néanmoins un écoulement au quel on se réfère souvent même dans l'étude des problèmes réels non uniforme souvent par simplification de langage, nous contenterons de parler d'écoulement uniforme, au sens l'écoulement permanent et uniforme.

I-3- Définition de fluide parfait :

Un fluide parfait est un fluide considéré comme fluide non visqueux, dont l'écoulement se fait sans frottement interne. Ce fluide n'ayant aucune interaction avec les parois de la conduite d'écoulement (le tuyau). Donc les volumes du fluide se déplacent tous à la même vitesse c.-à-d. il n'y a pas de résistance à l'écoulement du fluide, dans ce cas on peut dire que la viscosité est nulle. [4]

I-4- Propriété des fluides :

Dans l'établissement des principes de l'hydraulique, certaines propriétés des fluides jouent un rôle important, d'autres seulement un rôle mineur ou aucun rôle du tout. En hydrostatique (fluide au repos) c'est le poids spécifique qui est la propriété la plus importante, tandis qu'en hydrodynamique (fluide en mouvement), la densité et la viscosité sont des propriétés dominantes. La pression de vapeur prend de l'importance quand interviennent des basses pressions, le liquide en question contient des bulles de

μconditions statiques et dynamiques dans les conduits très étroits, c'est le phénomène de capillarité [2].

I-4-1- La masse volumique :

La masse volumique (ρ) est le rapport :

$$\rho = \frac{Masse}{Volume} = \frac{M}{V} \quad [Kg/m^3] \quad (1)$$

Pour les liquides, le volume est pratiquement insensible aux variations de pression et, dans la majorité des cas, il augmente faiblement quand la température augmente, l'eau faisant exception à cette règle en dessous de 4°C.

$$\rho_{eau} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{mercure} = 13546 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{air \text{ sec}} = 1,205 \text{ kg/m}^3$$

Attention : Contrairement aux liquides, les gaz sont fortement compressibles. La variation de masse volumique dépend de la température et de la pression : ρ = f (p, T).

I-4-2- Le poids volumique :

Il représente la force de gravité agissant sur la masse par unité de volume :

$$\gamma = \frac{Poids}{Volume} = \frac{mg}{V} = g \cdot \rho \quad [N/m^3] \quad (2)$$

$$\gamma_{eau} = 104 \text{ N/m}^3$$

$$\rho = \frac{Masse}{Volume} = \frac{m}{V} \quad [Kg/m^3] \quad (3)$$

γ: Poids Volumique en (N/m³)

m : masse en (Kg)

g : accélération de gravitation en (m/s²)

v : volume en (m³)

I-4-3- La Viscosité :

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande

viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel en mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la

Viscosité du fluide:

La viscosité d'un fluide en mouvement est la propriété qui exprime sa résistance à une force tangentielle .Et déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. [2]

Expérience :

Considérons un fluide placé entre deux plaques planes, parallèles, distantes de L et horizontales. L'une est fixe et l'autre est en mouvement uniforme de vitesse U₀. Pour générer une vitesse de la plaque supérieure (surface A), il faut exercer une force F. [2]

On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

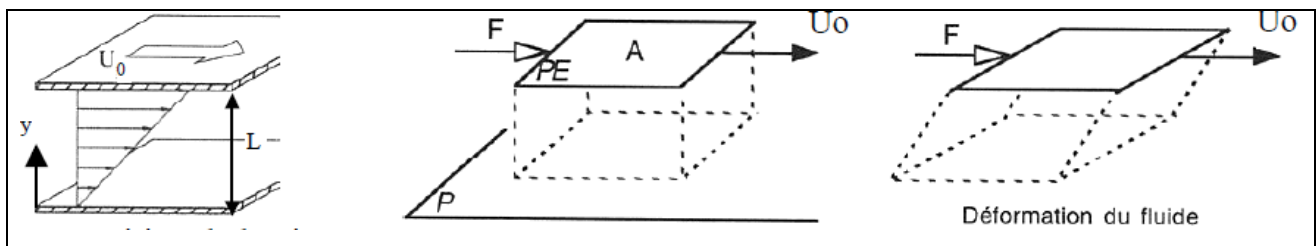


Figure (I-1) : Répartition de la vitesse entre deux plaques en régime laminaire [2]

Cette force est la résultante des forces de frottements visqueux

On définit un deuxième coefficient de viscosité, le coefficient de viscosité cinématique :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (4)$$

$\mu_{\text{eau}} \text{ à } 20^\circ\text{C} = 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$	$\mu_{\text{mercure}} = 1,554 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$	$\mu_{\text{air}} = 18,5 \cdot 10^{-6} \text{ N.s/m}^2$
$v_{\text{eau}} \text{ à } 20^\circ\text{C} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$v_{\text{mercure}} = 0,1147 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$v_{\text{air}} = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Tableau (I-1) : Valeur de la viscosité dynamique(μ) et la viscosité cinématique(v). [2]

Viscosité dynamique :

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ...Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière.

Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δz . La force de frottement F qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit Δv , à leur surface S et inversement proportionnelle à Δz : [1]

Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta z} \quad (5)$$

Où :

F : force de glissement entre les couches en (N).

μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s).

S : surface de contact entre deux couches en (m²).

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s).

ΔZ : Distance entre deux couches en (m).

Remarque : Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde (Pa·s) ou Poiseuille (Pl) : $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$. [1]

Viscosité cinématique :

(ν) D'un fluide est égale au rapport de sa viscosité dynamique (μ) par sa masse volumique(ρ) : [3]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

L'unité de la viscosité cinématique est le (m²/s). [1]

Remarque:

- unité:

On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique.

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Influence de la température :

Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide décroît car sa densité diminue.

- différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique :

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement (voir la relation kg/m·s). [1]

I-5- Statique des fluides :

La statique des fluides est la science qui étudie les conditions d'équilibre des fluides au repos. Plus précisément, elle concerne toutes les situations dans lesquelles il n'y a pas de mouvement relatif entre les particules fluides c.-à-d. le fluide au repos et uniformément accélérés. Alors il n'y a pas de contraintes tangentielles dues aux frottements entre particules.les forces misent en jeu sont uniquement les forces de volume dues au poids et les forces de surface dues a la pression. La relation fondamentale de l'hydrostatique et donnée par : [1]

$$P_1 - P_2 = \rho g(Z_2 - Z_1) \quad (7)$$

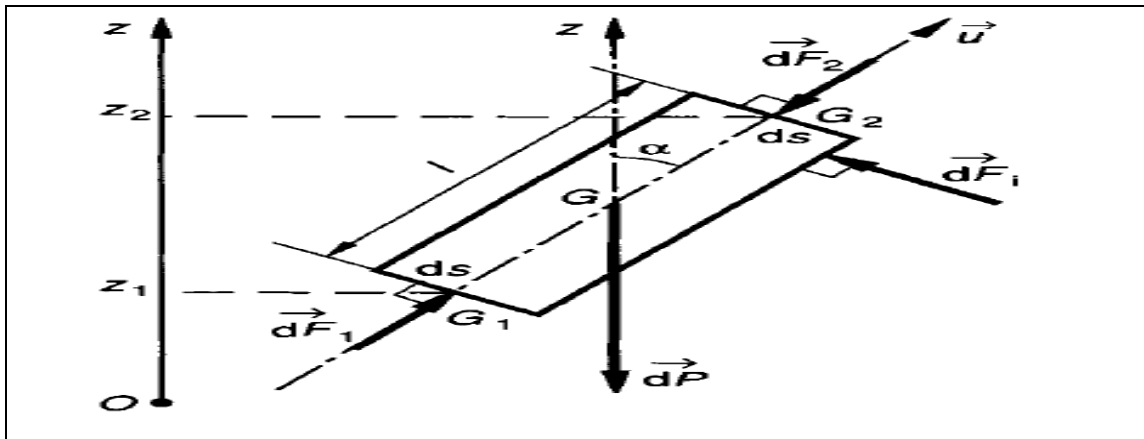


Figure (I-2) : schéma expliquant la relation fondamentale d'hydrostatique. [3]

I-6- Dynamique de fluide :

I-6-1- Ecoulement permanent :

L'écoulement d'un fluide est dit permanent si le Champ des vectrices vitesses des particules fluides est indépendant du temps. Notons cependant que cela ne veut pas dire que le champ des vectrices vitesses est uniforme. L'écoulement permanent est le seul que nous aurons à considérer dans ce cours. Un écoulement non permanent conduirait à considérer les effets d'inertie des masses fluides ce qui n'est pas au programme. [1]

I-6-2- Conservation de masse :

Cette équation exprime le principe de conservation de la masse : la variation de masse de fluide d'un élément de volume dv pendant un temps dt est égale à la masse de fluide entrante dans ce volume déduite de la masse de fluide sortante. En écrivant que la variation de masse de fluide d'un élément de volume dv pendant un temps dt est égale à la masse de fluide entrante dans ce volume moins la masse de fluide sortante. [2]

On a:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (9)$$

L'équation de la continuité :

L'interprétation physique de cette équation est la suivante : les débits Q entrant et sortant à travers un volume quelconque et rempli du fluide doivent être égaux. [2]

Exemple de conduite à section variable :

(Intégration de $\text{div}(\mathbf{V})$ sur le volume et passage à une intégrale de surface par Ostogradski)

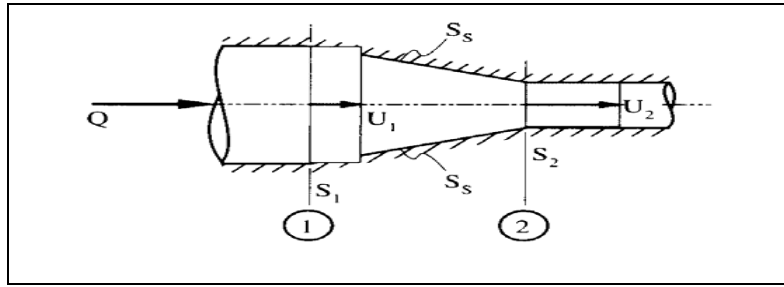


Figure (I-3) : conduite à section variable [2].

$$\rho_1 \cdot U_1 \cdot S_1 = \rho_2 \cdot U_2 \cdot S_2 \quad (10)$$

$$\frac{\rho_1 \pi d_1^2}{4} V_1 = \frac{\rho_2 \pi d_2^2}{4} V_2 \quad (11)$$

Où:

- S_1 et S_2 respectivement la section d'entrée et la section de sortie du fluide à l' instant t.

- V_1 et V_2 les vitesses d'écoulement respectivement a traverse les sections S_1 et S_2 de la Vien.

- ρ_1 et ρ_2 les masses volumiques des fluides, $\rho_1 = \rho_2 = \rho$.

Et la section d'entrée s'exprime par : $s = \frac{\pi d^2}{4}$ (m²).

I-6-3- Conservation d'énergie :

L'équation mécanique totale contenue dans un volume unitaire est donc le travail mécanique total que la particule est susceptible d'accomplir. Ainsi, on peut dire que l'équation de Bernoulli traduit la conservation de l'énergie mécanique totale par unité de volume au cours du mouvement permanent.

Dans un écoulement, l'énergie mécanique totale par unité de volume de fluide, peut être modifiée d'une section à l'autre en introduisant par exemple dans le circuit une machine hydraulique.

- **Théorème de Bernoulli:**

Cas d'un écoulement 1→2 sans échange de travail :

Ce cas se rencontre lorsque, entre les positions 1 et 2 du fluide, il n'y a aucune machine, ni réceptrice, ni motrice. [3]

L'expression de l'équation de Bernoulli s'écrit :

$$\frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + gZ_2 = \frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + gZ_1 \quad (12)$$

Ou bien :

$$\frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + \frac{1}{\rho}(P_2 - P_1) + g(Z_2 - Z_1) = 0 \quad (13)$$

Ou :

p : pression du fluide incompressible (Pa)

ρ : Masse volumique du fluide (Kg/m³)

V : Vitesse de l'écoulement du fluide (m/s)

g : Accélération gravitationnelle (m/s²)

Z : Hauteur du fluide (m).

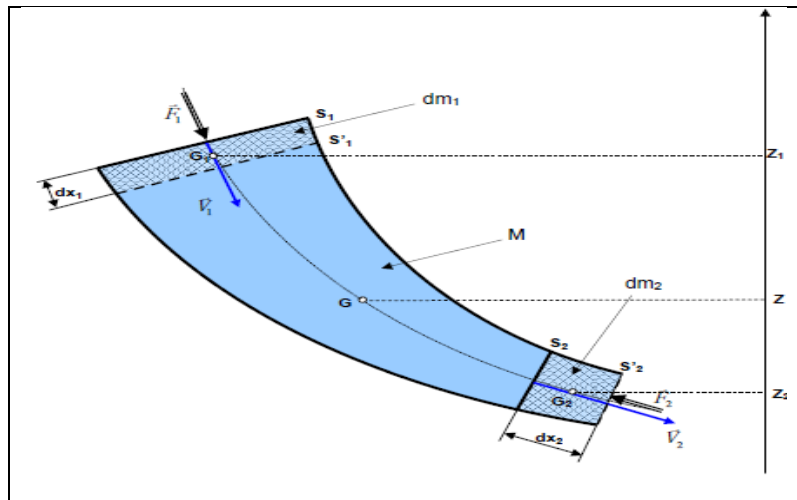


Figure (I-4) : schéma explique le théorème de Bernoulli. [1]

I-7- Régime des écoulements :

Dans une veine fluide, on peut immerger des particules dont il est possible de filmer le mouvement et on peut alors distinguer deux types d'écoulements. La trajectoire d'une particule donne l'image d'un filet fluide.

- Si les filets fluides sont des lignes régulières, sensiblement parallèles entre elles, l'écoulement est dit laminaire.
- Si les filets fluides s'enchevêtrent, s'enroulent sur eux-mêmes etc. l'écoulement est dit turbulent. Des études plus fines ont montré qu'il existe encore une subdivision entre les écoulements turbulents lisses et les écoulements turbulents rugueux.

La limite entre ces différents types d'écoulements est évidemment difficile à appréhender.

Nombre de Reynolds :

Nombre de Reynolds(R_e) a trouvé une expression qui permet de distinguer ces deux types d'écoulement:

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \quad (14)$$

Ou :

V : vitesse moyen d'écoulement à travers la section considérée (m/s).

d : diamètre intérieur de conduite(m).

ν : viscosité cinématique du fluide (m^2/s)

C'est un nombre sans dimension. Suivant la valeur de R_e , l'écoulement sera laminaire ou turbulent.

- Si $R_e \leq 2000$: Le régime est laminaire

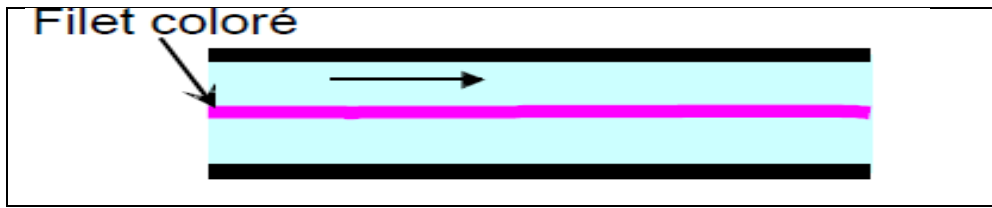


Figure (I-5): écoulement est laminaire

- Si $2000 < R_e < 4000$: Le régime est transition ou critique.
- Si $4000 < R_e$: Le régime est turbulent.

- régime turbulent lisse

-régime turbulent rugueux

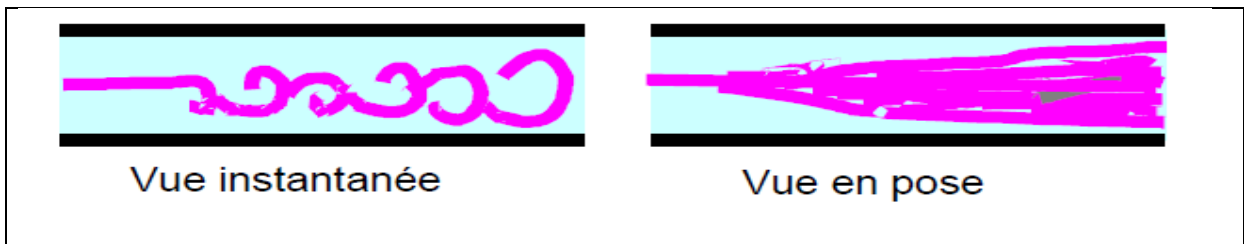


Figure (I-6): écoulement est turbulent. [1]

I-8- Définition de la conduite :

Les conduites sont des canalisations de forme cylindrique de section circulaire destinées à l'écoulement d'un fluide, liquide ou gaz ou d'un produit pulvérulent au transport de l'énergie de pression (vapeur, huile hydraulique, air comprimé...). Elle peut être rigide ou souple. La conduite est caractérisée par la section, longueur. [1]

I-9- Rugosité des conduites :

Contrairement à une surface lisse, une surface rugueuse implique un état de surface dont les irrégularités ont une action directe sur les forces de frottements. On considère une surface rugueuse peut être considérée comme étant constituée par une série de protubérances élémentaires caractérisées par une hauteur (K), et appelée rugosité.

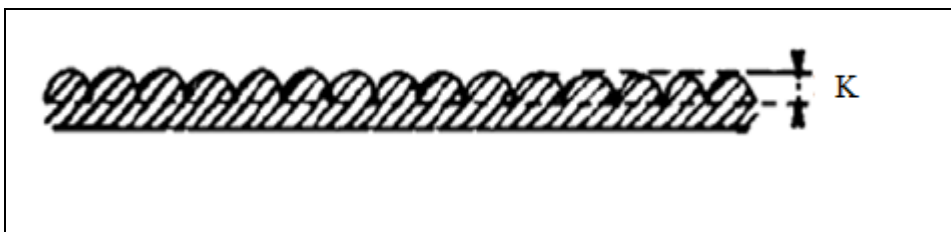


Figure (I-7) : rugosité d'une conduite [2]

$\frac{k}{D} = \frac{\epsilon}{D}$ Rugosité relative (15)

Rugosité moyenne de conduites commerciales:

Matériau	Condition	Rugosité absolue en mm
Acier	Feuille de métal neuve	0.05
	Acier inoxydable	0.002
	Commercial, neuf	0.046
	Rivé	3.0
	Rouillé	2.0
Fer	Fonte, nouvelle	0.26
	Forgé, nouveau	0.046
	Galvanisé, nouveau	0.15
	Fonte asphaltée	0.12
Cuivre	Tube étiré	0.002
Plastique	Tube étiré	0.0015
Verre		Lisse
Béton	Lisse	0.04
	Rugueux	
Caoutchouc	Lisse	0.012.0
Bois	Défoncé	0.5

Tableau (I-2): Les valeurs de rugosité moyenne de conduite commerciales. [5]

I-10- Définition des pertes de charge :

L'écoulement d'un fluide réel dans une conduite représente une des applications classiques de l'hydrodynamique théorique et expérimentale. La maîtrise de ces écoulements pour le calcul du fonctionnement des réseaux d'eau potable est indispensable.

On distingue deux types de perte de charge :

- la perte de charge linéaire représentant l'énergie perdue entre les deux points,
- la perte de charge singulière qui intervient lorsque l'écoulement uniforme est localement perturbé.

I-11- Les types de perte de charge :

Perte de charge linéaire :

Les pertes de charges linéaires, sont des pertes de charge réparties régulièrement le long des conduites. En chaque point d'un écoulement permanent, les caractéristiques de l'écoulement sont bien définies et ne dépendent pas du temps [1]

La représentation graphique de l'écoulement prend l'allure ci-dessous :

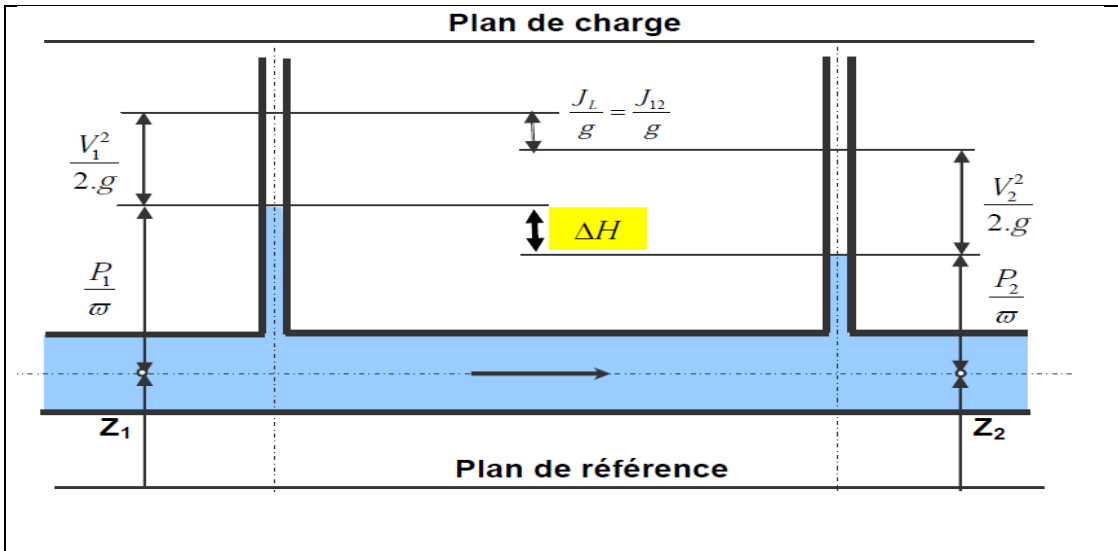


Figure (I-8) : représentation graphique de l'écoulement prend l'allure. [1]

La vitesse étant constante, la ligne piézométrique et la ligne de charge sont parallèles. La variation de hauteur piézométrique, évaluée en hauteur de liquide est égale à la perte de charge linéaire entre les deux points de mesure.

Les pertes de charge linéaires sont proportionnelles à la longueur L de la conduite, inversement proportionnelles à son diamètre d, proportionnelle au carré de la vitesse débitante V du fluide.

$$J_L = -\lambda \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \left(\frac{L}{d}\right) \quad (16)$$

- V : vitesse moyenne d'écoulement dans la conduite (m/s)

- L : longueur de la conduite (m)

Ou :

- d : diamètre de la conduite (m)

- λ : coefficient de perte de charge linéaire. Il dépend du régime d'écoulement et notamment du nombre de Reynolds R_e . [3]

Dans un régime laminaire, $R_e \leq 2000$:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \text{ (Forme de poiseuille)}$$

Dans un régime turbulent lisse, $2000 < R_e < 10^5$:

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25} \text{ (Forme de Blasius)}$$

Dans un régime turbulent rugueux, $R_e > 10^5$:

$$\lambda = 0,79\sqrt{\frac{\epsilon}{d}} \quad (\text{Formule de blench})$$

Avec :

ϵ : Rugosité conventionnelle (en mm)

• **Perte de charge singulière :**

Quand la conduite subit de brusque variation de section ou de direction, il se produit des pertes de charges dites singulières, elles sont généralement mesurable et font partie des caractéristiques de l'installation. [1]




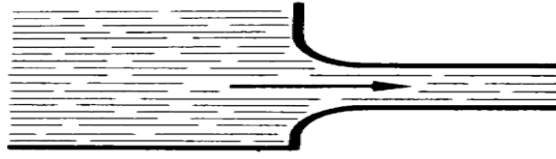
On les exprime par :

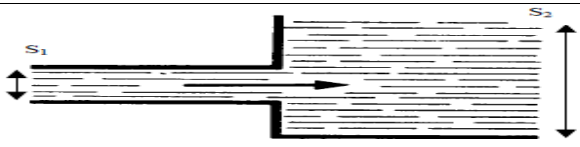
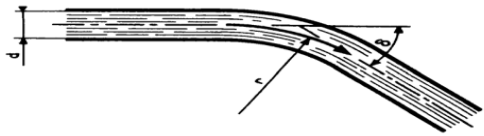

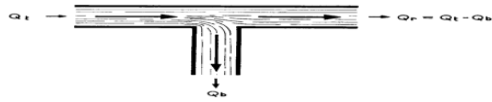
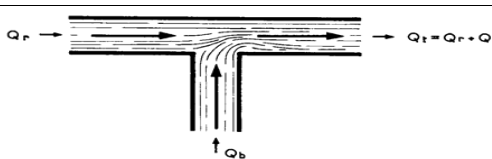
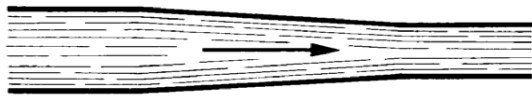
$$J_s = -K_s \cdot \frac{v^2}{2} \quad (17)$$

Où s : indice de l'accident de forme de la conduite.

K_s : Coefficient (sans unité) de pertes de charge. Il dépend de la nature et de la géométrie de l'accident de forme. Les valeurs de K_s sont données par les constructeurs dans leurs catalogues.

I-12- La forme des conduites :

Nom de la forme	Forme géométrique	Fonction des caractéristiques géométriques (k)
Raccordement d'une conduite avec un grand réservoir Épart	Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement à angles vifs 	$K=0,5$
	Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement à angles vifs, ajutage débitant à gueule bée 	$K=1$
	Avec saillie à l'intérieur du réservoir 	$K=1$ Pour une saillie dont la longueur est comprise entre 1 et 2 fois le diamètre
		$K = 0.05$ Cette valeur est une moyenne, elle dépend du

	Sans saillie à l'intérieur du réservoir, avec raccordement de profil arrondi	Profil de l'arrondi.
Arrivée		$K=1$ $K = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2$ $S_2 \gg S_1 \Rightarrow K=1$
Coudes Arrondi		K $= \left(0,131 + 1,847 \left(\frac{d}{2r}\right)^{\frac{7}{2}}\right) \frac{\delta}{90^\circ}$ δ en degrés
Coudes Brusque		K est indépendant du diamètre
Tés Branchement de prise à 90° de même diamètre et à angles vifs		$\Delta H_r = K_r \frac{V_t^2}{2g}$ $\Delta H_b = K_b \frac{V_t^2}{2g}$
Tés Branchement d'amenée à 90° de même diamètre et à angles vifs		
Cônes Convergent		La perte de charge est négligeable


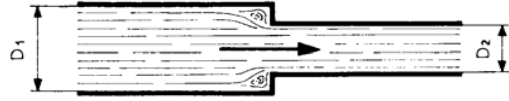
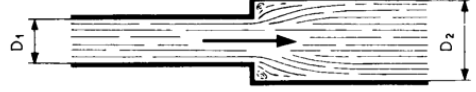
<p>Cônes Divergent</p>		$K = 3,2 \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right) \right)^{1,25} \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2$ <p>Si $\theta > 20^\circ$ il y a décollement et le comportement est identique à celui d'un élargissement brusque</p>
<p>Changement brusque de diamètre Rétrécissement</p>		$K = 0,5 \cdot \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)$
<p>Changement brusque de diamètre Elargissement</p>		$K = \left(1 - \frac{S_1}{S_2} \right)^2 + \frac{1}{9} \left(\left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right)$

Tableau (I-3): la géométrie de la conduite et les valeurs de (K). [2]

I-13- Conclusion :

Les fluides sont caractérisés par les propriétés physiques (masse volumique, viscosité, débit, vitesse...), ces propriétés seront utilisées ultérieurement. La statique des fluides est basée principalement sur la relation fondamentale de l'hydrostatique. Les équations sous-établies dans la dynamique des fluides en particulier l'équation de Bernoulli, continuité et nombre de Reynolds. Les pertes de charge dépendent de la forme des conduites, des démontions et de la rugosité de la canalisation. Les caractéristiques d'écoulement des liquides (la vitesse, les régimes, les pertes de charge) dépendent fortement des diamètres des conduites.

Chapitre II
Problème
l'entartrage et
colmatage

II-1-Introduction :

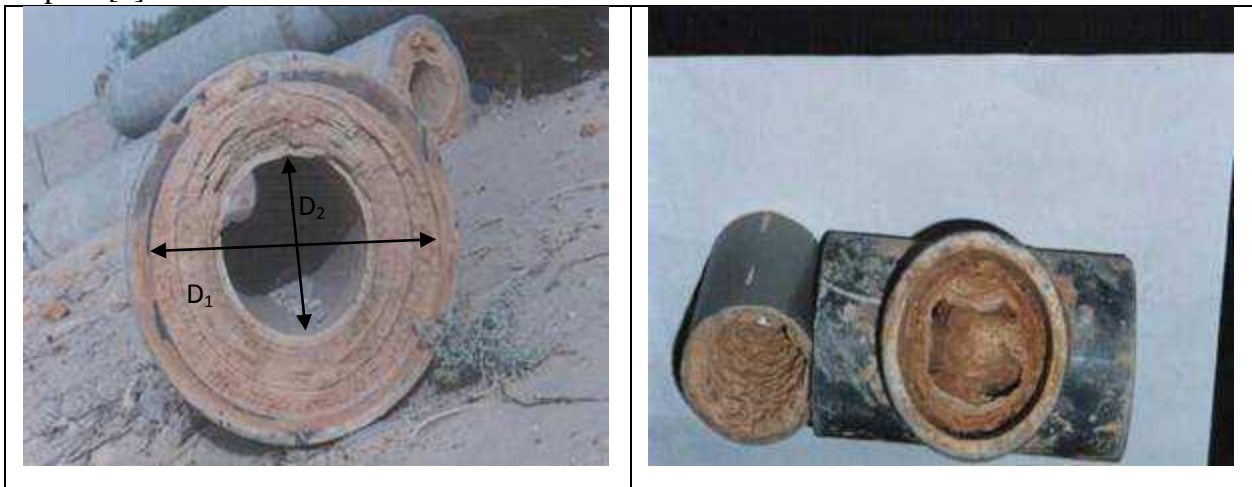
Tous les circuits alimentés par des eaux chaudes sont confrontés au problème de formation de dépôts cristallins au niveau de parois en contact avec l'eau. Le tartre est le nom donné à un dépôt cristallin adhérent, constitué de carbonate de calcium CaCO_3 et d'hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$, qui se forme à partir d'une température de chauffage supérieure à 50°C .

Les inconvénients de tartre sont multiples : baisse du coefficient de transfert thermique; réduction du diamètre des conduites d'eau c.-à-d. changement des paramètres d'écoulement tel que Q et P et les pétés des charges, ainsi le bouchage des conduites (colmatage) ; invasion par le tartre des systèmes de production d'eau chaude (chaudières, échangeurs,...etc.).[6]

II-2-définition l'entartrage :

L'entartrage est un problème des sels minéraux contenant dans l'eau qui a tendance à se former un dépôt de tartre sur les surfaces d'échanges et les parois des conduites. Les dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et du sulfate de calcium. Pour qu'il y ait dépôts de tartre sur les parois, deux conditions principales doivent être réunies :

- une condition thermodynamique : il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation.
- une condition cinétique : il faut que la vitesse de déposition soit suffisamment rapide.[7]



D_1 : diamètre de conduite. D_2 : diamètre après la formation l'entartrage.

Figure (II.1) : Conséquence de l'entartrage.[6]

II-3-Déférent type de tartre :

L'analyse de tartre provenant du circuit de refroidissement ou des chaudières et même dans les installations industrielles montre la présence de plusieurs composants. Parmi les composants fondamentaux qui forment le tartre on cite l'ion calcium Ca^{++} et l'ion magnésium (Mg^{++}) et les sulfates, généralement il y a deux types de tartre :

II-3-1-Tartre alcalin :

Le tartre alcalin est du principalement à la présence de carbonate et d'hydroxydes, résultant de la décomposition thermique de l'ion bicarbonate (HCO_3^-).



L'élévation de la température provoque l'élimination du CO_2 donc obligatoirement la formation d'ion les ions de calcium, de magnésium et les ions de carbonates et hydroxyde contenus dans l'eau nous donnent respectivement :



La dissolution de ce tartre est réduite au cours de l'augmentation de la température, donc le degré de formation des ces deux précipités dépend du bicarbonate et de la température.

II-3-2-Tartre non alcalin :

Le type de tartre non alcalin le plus important est composé essentiellement de sulfates et surtout de sulfates de calcium (CaSO_4) dans l'eau par les formes suivantes :

(CaSO_4), ($\text{CaSO}_4, 1/2 \text{H}_2\text{O}$), ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), ces trois formes sont beaucoup plus solubles que le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium, pour cela les tartres ne se forment que dans le cas où la solution serait sursaturée en sulfates de calcium à des températures élevées.[6]

II-4- Les effets de tartre sur les caractéristiques d'écoulement en fonction de diamètre :

- La variation de la vitesse (V) en fonction de diamètre (d) :

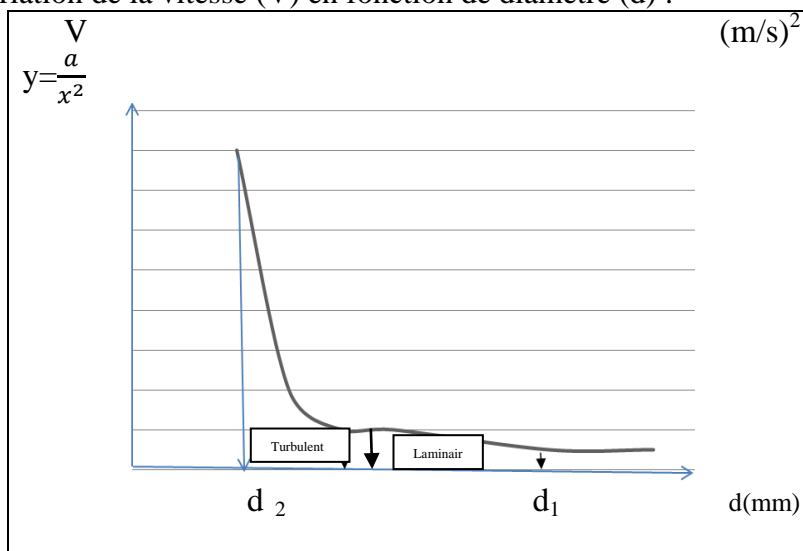


Diagramme (II-1): la variation de vitesse (v) en fonction de diamètre(d).

D'après l'observation de diagramme trouvons le diamètre (d_1) se diminue après un période de temps(t)et devenu (d_2) à cause de l'entartrage cette variation provoque l'augmentation de la vitesse dont la condition ou débite est constant. On constate

que la variation de la vitesse change le régime d'écoulement de laminaire vers régime turbulent.

La variation de la pression d'un point donné dans la conduite après la formation de dépôt de tartre :

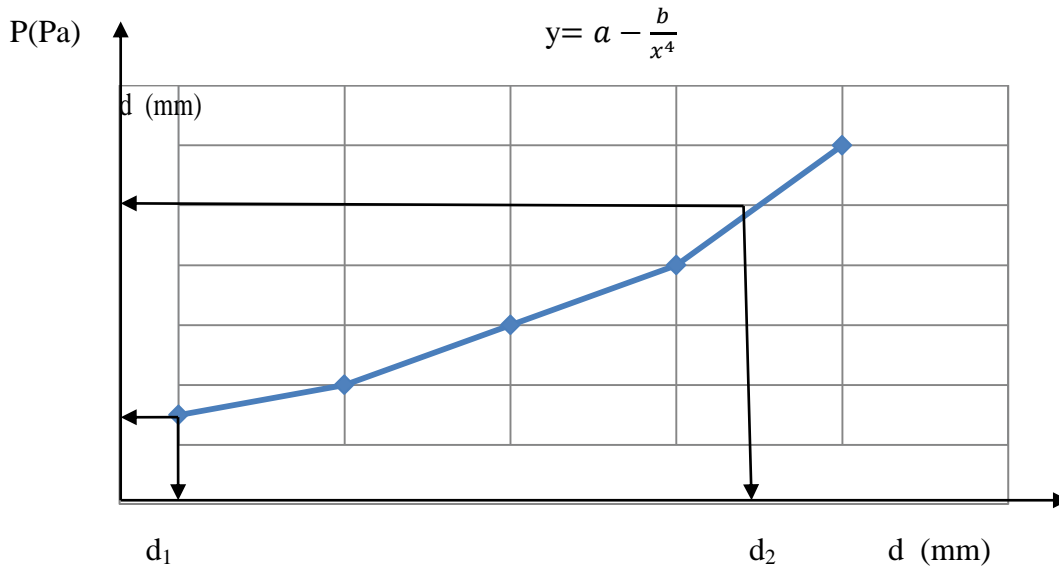


Diagramme (II-2) : la variation de pression (P) en fonction de diamètre (d).

D'après l'observation de diagramme trouvons le diamètre (d_1) se démunie après une période de temps (t) et devenu (d_2) à cause de l'entartrage, cette variation provoque la diminution de la pression.

- La variation de la perte de charge linéaire (J_L) en fonction de diamètre :

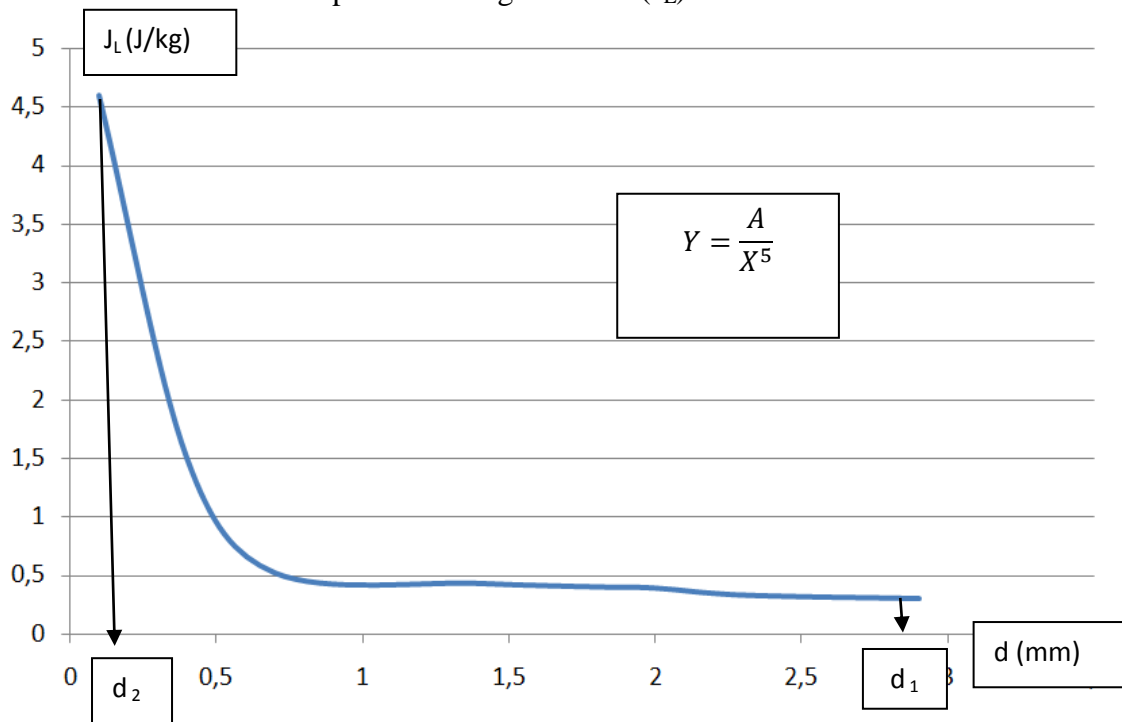


Diagramme (II-3) : perte de charge linéaire en fonction de diamètre.

D'après l'observation de diagramme trouve le diamètre (d_1) se démunie après une période de temps (t) et devenu (d_2) à cause de l'entartrage, cette variation provoque l'augmentation de la perte de charge linéaire.

- La variation de perte de charge singulière(J_s) en fonction (d) :

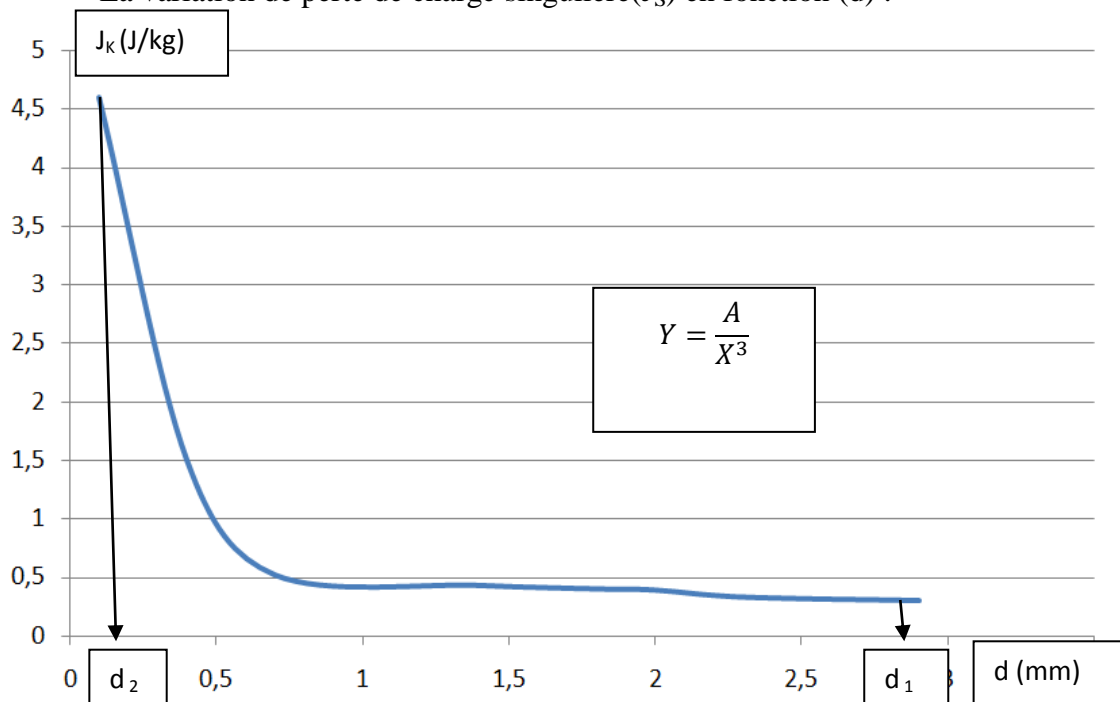


Diagramme (II-4) : La variation de la perte singulière(J_s) en fonction de diamètre(d).

D'après l'observation de diagramme trouvons (d_1) se démunie après une période de temps (t) et devenu (d_2) à cause de l'entartrage, cette variation provoque l'augmentation de la perte de charge singulière.

Remarque : la somme des pertes de charges linéaire J_L et singulière J_S influé sur les caractéristiques physique d'un écoulement de la conduite (nombre de Reynolds, vitesse, débit, rugosité, régime). [9]

II -5-Mécanisme de l'entartrage

La dureté de l'eau est principalement causée par la présence d'ions calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}) et Bicarbonate (HCO_3^-) dans l'eau, une eau dure peut poser des problèmes d'entartrage des appareils et des canalisations d'eau chaude, il est possible de réduire la dureté de l'eau en l'adoucissant par un système d'échanges d'ions.

II -5-1-La présence de calcaire dans l'eau :

La présence de sels de calcium et, dans une moindre mesure, de magnésium dans l'eau est le premier facteur qui contribue au caractère entartrant de l'eau ainsi, plus la dureté de l'eau est élevée, plus il y a prédisposition au dépôt de calcaire (en fait, du carbonate de calcium CaCO_3) sur les parois en contact avec l'eau. Mais la présence de sels de calcium dans l'eau n'est pas à elle seule suffisante pour provoquer l'entartrage.



II -5-2-La température de l'eau :

La réaction chimique qui provoque la précipitation du carbonate de calcium est largement favorisée par l'élévation de la température qui, en libérant du gaz carbonique, accélère la précipitation du tartre. Il n'y a pas ou très peu d'entartrage sur les canalisations d'eau froide. En revanche, les circuits d'eau chaude sanitaire représentent un terrain favorable à l'entartrage.

On peut noter que les circuits de chauffage s'entartrent très peu malgré la température est élevée où il n'y a pas de renouvellement d'eau, le phénomène d'entartrage s'arrêtant de lui-même lorsque tout le CaCO_3 contenu a été déposé. [10]

II-6-Couses, conséquences de l'entartrage :

II-6-1-Les couses :

Pour qu'il y ait dépôt entartrant, deux conditions doivent réunies :

- Il faut que la limite de solubilité soit dépassée, c'est-à-dire qu'il y ait sursaturation, c'est l'aspect thermodynamique.
- Il faut ensuite que la vitesse de dépôt soit suffisamment rapide, c'est l'aspect cinétique.

De plus, les conditions hydrodynamiques jouent un rôle particulier. Lorsque l'écoulement est turbulent, le renouvellement du fluide en contact avec la surface du matériau est maximal. Ceci favorise la croissance du dépôt à partir de sites de nucléation. Des changements dans les conditions d'écoulement peuvent également entraîner l'entartrage, exemple : vanne de détente, au voisinage des coudes,....[8]

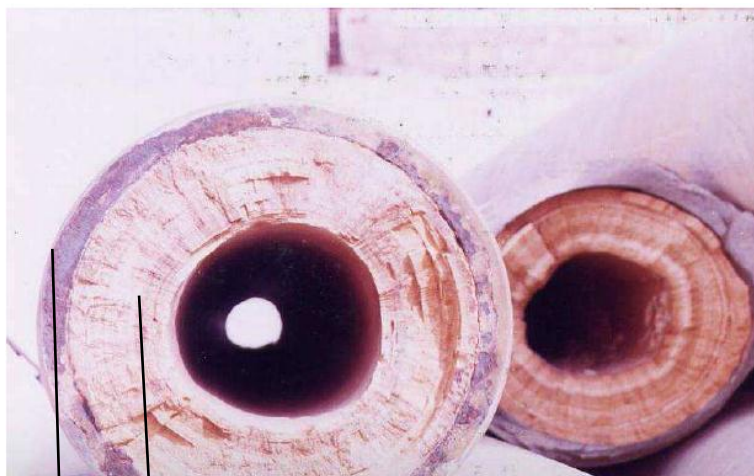
II-6-2- Les Conséquences:

Les conséquences de l'entartrage sont :

- Hydrauliques.
- Technologiques.
- Energétiques et thermique.

II-6-2-1-Conséquences hydrauliques :

L'accumulation d'une épaisseur de tartre dans les équipements conduit à une diminution des sections de passage, ce qui occasionne une augmentation de la résistance hydraulique des réseaux qui conduit dans tous les cas à une augmentation de la dépense énergétique des pompes dans le cas de réseaux fermés.



La conduite
L'entartrage

Figure (II-2-) : Impact de l'entartrage sur les conduites de l'eau potable. [11]

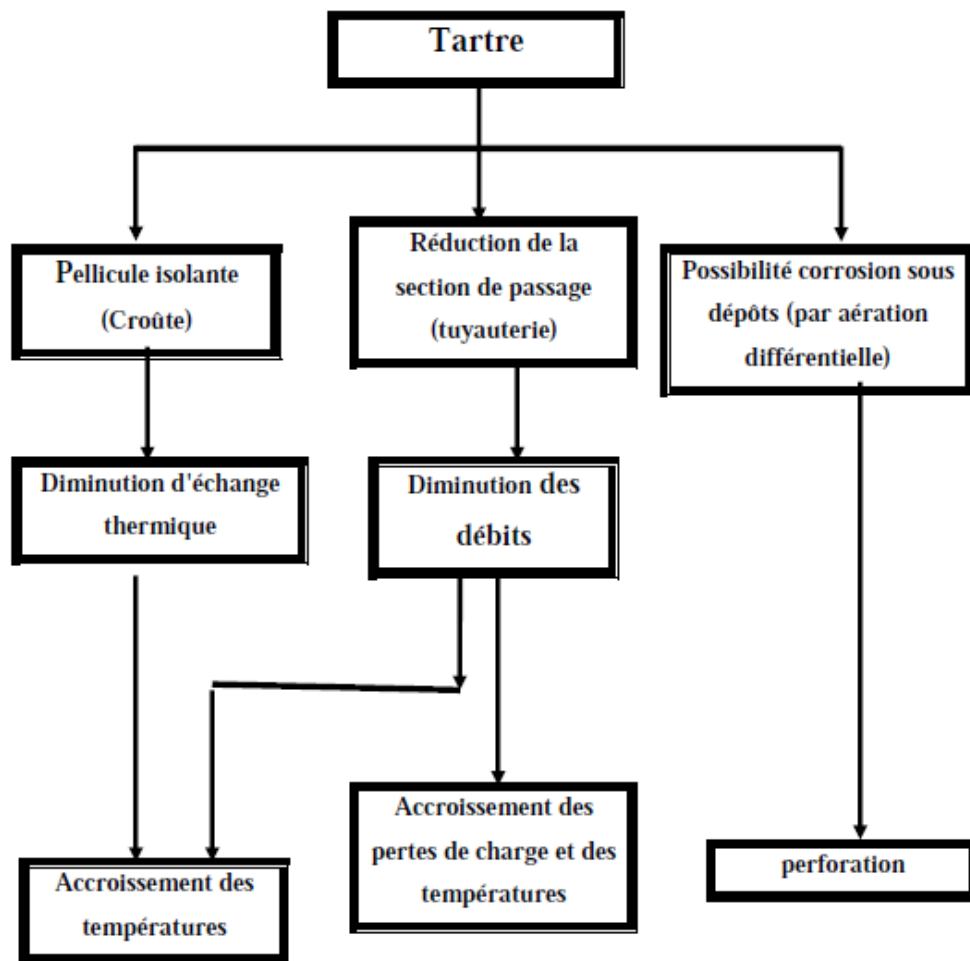


Diagramme (II-5) : conséquences du tartre sur l'installation hydraulique. [11]

II-6-2-2-Conséquences technologiques :

L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques.

- Le blocage des organes de manœuvre des robinetteries,
- Le blocage des soupapes de sécurité,
- La diminution du volume utile des réservoirs,

II-6-2-3- Conséquences énergétiques et thermique :

Les tartres ont des conductivités thermiques très faibles en regard des matériaux utilisés dans la construction des échangeurs : acier ou cuivre.

Les matériaux ne sont pas tous sensibles à l'entartrage de la même façon. Pour qu'un entartrage puisse se produire il faut :

- Une précipitation de sels minéraux.
- Un accrochage des sels aux parois.

Ces raisons et les résultats jouent un rôle important dans la survenue d'un autre phénomène qui est en cours obstructive, où plus le taux de dépôt ne diminue avec le diamètre du tuyau jusqu'à ce que nous entrions dans la dernière embolie ($d = 0$). [6]

II-7-Définition de colmatage :

Le colmatage est défini comme une diminution de la conductivité hydraulique ou de la porosité d'un sol. Dans notre étude, le colmatage est phase finale de l'entartrage où on a un diamètre de conduite $d=0$, dans ce cas la résistance hydraulique est devenue plus grande ce qui provoque l'éclatement de la canalisation.

II-8-Les conséquences :

- Conséquence hydrauliques: modification des échanges, décalage, des écoulements, variation saisonnières des échanges blocage, individualisation de gravière.
- Conséquence sur la qualité des eaux : Conséquence hydrauliques: modification des échanges, décalage, des écoulements, variation saisonnières des échanges blocage, individualisation de gravière.

Ces différentes conséquences sont variables selon les conditions hydrologiques du site, selon les qualités physico-chimiques des eaux. dans cette figure(II-2) représente les conséquence de l'entartrage. [12]



Figure (II-3) : conséquences de l'entartrage.

II-10-COCLUSION :

L'entartrage est un problème des sels minéraux contenants dans l'eau forment des dépôts de calcaire, ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et du sulfate de calcium.

Le problème avant que nous pouvons dire qu'il ya des facteurs qui on contribués à l'émergence du phénomène de l'entartrage et le plus important de la qualité de l'eau qui mène au dépôt d'une partie du matériel qui à son tour aide à l'émergence d'une nouvelle couche à l'intérieur du conduit , la dernière part dans le manque de diamètre du conduit augmentation des facteurs d'assistance dans le dépôt jusqu'à ce que nous atteignons à un autre phénomène : le blocage (colmatage) de sorte que le diamètre réduit du conduit d'être complètement lin ($d=0$), ce dernier provoque l'éclatement de la tuyauterie,

Chapitre III
Adoucissement
de l'eau

III-1- Introduction :

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) et, par opposition, "douce" lorsqu'elle contient peu de ces ions. La dureté d'une eau s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{F}$). Un degré français correspond à une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg/l de CaCO_3 .

III-2- Les principaux éléments responsables de la dureté :

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} . Les plus abondants étant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les ions Fe^{2+} , Mn^{2+} et Sr^{2+} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

- **Le calcium** est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature. Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprissent entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'organisation mondiale de la santé OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/L.
- **Le magnésium** est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l.

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à 1,5 mg/l de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles; dans les eaux de distribution, il provient le plus souvent de la corrosion des conduites d'aménées. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage.

En pratique on ne considère souvent que la dureté totale d'une eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et la dureté magnésienne:

$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

On distingue deux types de dureté, carbonatée ou temporaire et non carbonatée ou permanente. L'eau peut être classée suivant son degré de dureté :

- Eau douce, de 0 à 60 mg/l de CaCO_3
- Eau modérément dure de 60 à <120 mg/l de CaCO_3
- Eau dure, de 120 à <180 mg/l de CaCO_3 ,
- Eau très dure, 180 mg/l et plus de CaCO_3 .

III-3- Normes et recommandations :

Une eau potable doit présenter un certain nombre des caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et en outre répondre à des critères organoleptiques essentiels (incolore, insipide, inodore, fraîche) appréciés par le consommateur (tableau III-1). L'organisation mondiale de la santé a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson, qui comprennent un exposé général des normes bactériologiques, physiques, chimiques biologiques et radiologiques

Tableau (III-1). Les concentrations admissibles dans l'eau potable

Eléments	Unité	O.M.S	C.E.E
pH	-	7-8,5	6,5-8,5
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	-	1250
Dureté	$^{\circ}\text{F}$	-	10-35
Ca^{2+}	mg/L	200	100
Mg^{2+}		150	50
Na^{+}		-	100
K^{+}		-	12
Al^{3+}		-	0,2
SO_4^{2-}		200	250
Cl^{-}		200	200
NO_3^{-}		44	50
NO_2^{-}		-	0,1
NH_4^{+}		-	0,5

III-4- L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques :

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la solubilité du Plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants:

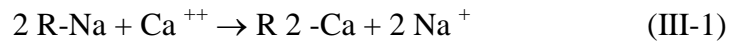
- Entartrage des appareils et des canalisations d'eau.
- Consommation d'énergie
- Consommation de lessive [11]

III-5-Adoucissement de l'eau :

Il s'agit d'un procédé de traitement destiné à éliminer le calcaire de l'eau par échange d'ions. Pour de nombreuses applications (traitement d'eau potable, circuit de refroidissement l'industriel, circuits d'alimentation de chaudières et des échangeurs), la dureté de l'eau est un facteur très important. La dureté de l'eau s'exprime par le titre hydrométrique (en degré

français °F.). Celui-ci exprime la concentration en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . On notera que $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l}$ de calcaire par litre d'eau. Les adoucisseurs d'eau sont des échangeurs d'ions spécifiques, conçus pour modifier la composition ionique de l'eau à traiter ainsi retirer les ions responsables d'une dureté élevée.

L'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargée de sodium (Na), qui échange les ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}), responsables de la dureté de l'eau, contre des ions sodium (Na^+) :



Les deux figure (III-1) et (III-2) explique les échanges des ions dans l'état dure vers l'état douce. [7]

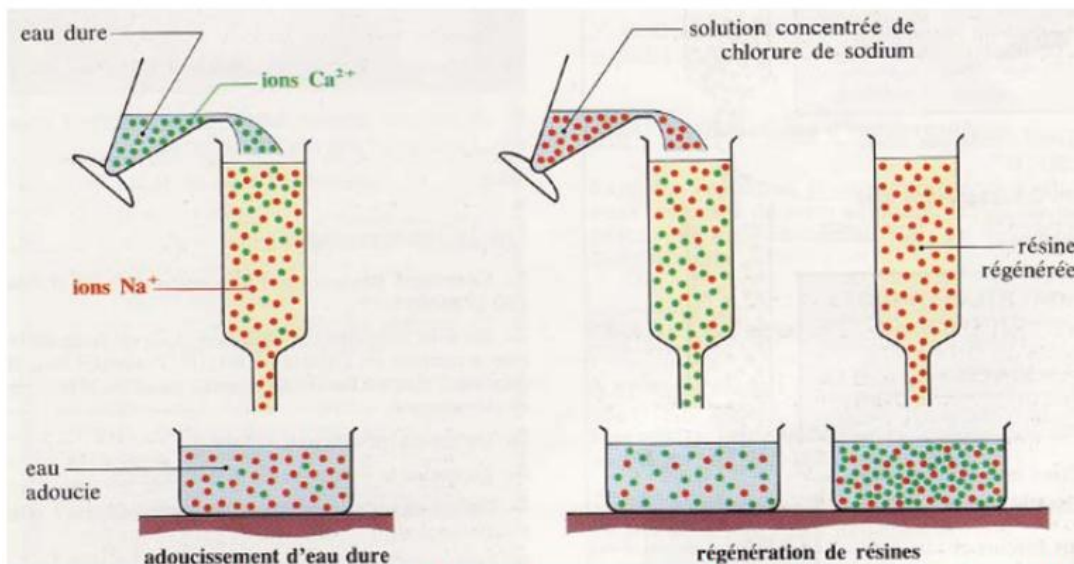


Figure (III-1) : opération de d'adoucissement de l'eau

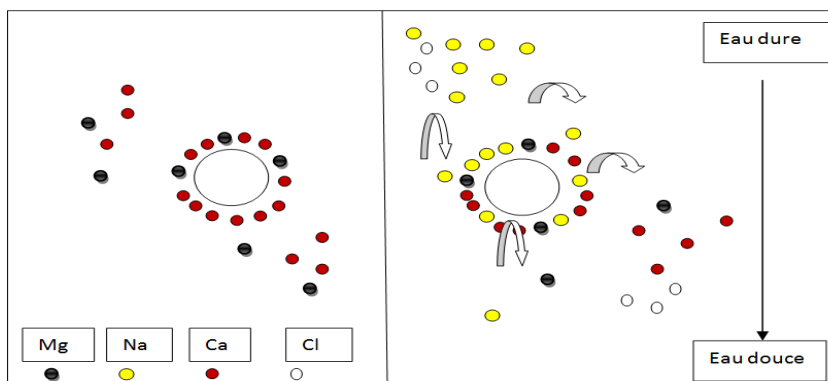


Figure (III-2) : les échanges des ions de l'eau dure dans l'eau douce

Lorsque la résine est saturée d'ions calcium et magnésium (substitués aux ions sodium) la régénération de celle-ci se déclenche et se déroule automatiquement selon un processus d'échange ionique à rebours:



La régénération de la résine saturée s'effectue avec du chlorure de sodium (NaCl) équivalent au sel de table mais présenté sous forme de pastilles de 15 sur 25 mm.

Les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout sous forme de chlorure de calcium et de magnésium.

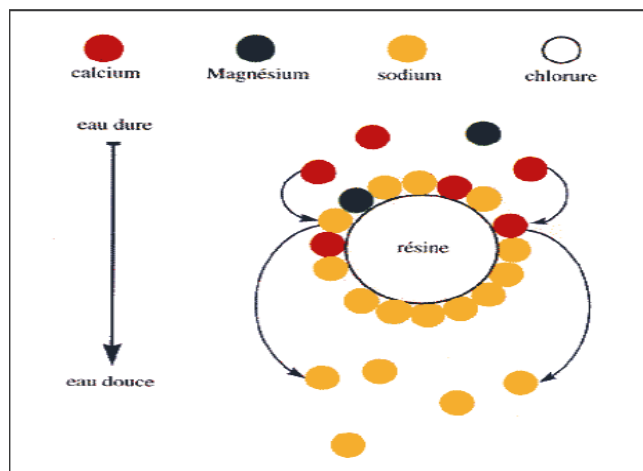


Figure (III-3) : Phase d'adoucissement de l'eau par résines échangeuses [7]

III-6-Fonctionnement d'un adoucisseur :

Il fonctionne grâce à la résine présente dans l'adoucisseur : résine échangeuse ; cette résine va effectuer des échanges d'ions, et modifier ainsi la composition chimique de l'eau.

- L'eau du réseau arrive par le haut de la bouteille de résine et traverse la résine. Une fois arrivée au fond de la bouteille, l'eau remonte par le tube central : l'eau qui ressort est douce.

- Lors du passage de l'eau au travers de la résine, celle-ci effectue un échange de molécules. Elle se charge en ions Ca^{++} (Calcium) et Mg^{++} (Magnésium) responsables de la formation de tartre.

- En échange, elle relâche les ions Na^+ (Sodium)

- Votre eau qui est passée par la résine a une nouvelle composition : Les Ca^{++} et Mg^{++} ont disparu, et à la place votre eau contient davantage de Na^+ .

* Pour les personnes suivant un régime sans sel strict, consulter votre médecin avant de consommer l'eau ainsi produite.

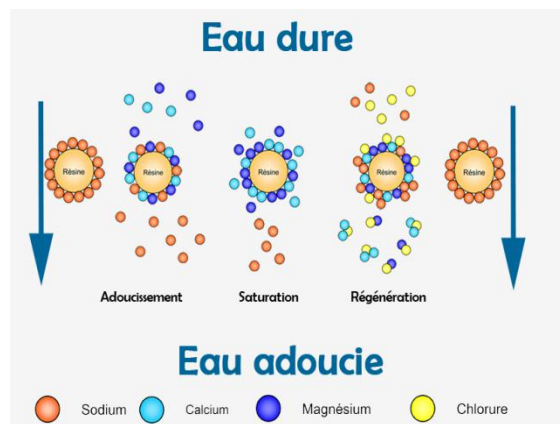


Figure (III-4) : fonctionnement de l'adoucissement d'eau.

- On dit que la résine est **saturée** lorsqu'elle est trop chargée en Ca^{++} et Mg^{++} .
- A ce stade, la résine ne peut plus fixer les ions Ca^{++} et Mg^{++} responsables du tartre.
- Il faut donc faire une "**régénération**" : la résine est d'abord détassée, puis on injecte la **saumure** (solution salée) dans la résine.
- Le sodium Na^+ prend progressivement la place du calcaire (Ca^{++} et Mg^{++}). Ensuite la résine est **rincée**, et l'eau chargée en calcaire part à l'égout.
- Votre résine est régénérée et prête à jouer son rôle d'adoucissement [12]

III-7-Les différents types d'adoucisseur :

Le cycle se reproduit périodiquement en fonction d'intervalles de durées pré-établies ou du volume d'eau que l'adoucisseur peut traiter.

La capacité de traitement entre 2 régénérations se calcule comme suit :

$$\frac{\text{capacité cyclique en } ^\circ\text{F}/\text{m}^3}{\text{Durée totale en } ^\circ\text{F} - \text{Durée résiduelle}}$$

- **Régénération chronométrique:** Ce cycle entre deux régénérations est fixe. La régénération se fait à l'heure fixe et quelque soit la consommation en eau adoucie. Le système est utilisable sur les installations où la consommation d'eau est pratiquement constante (*par exemple les habitats collectifs*).

- **Régénération volumétrique:** La régénération est lancée en fonction du volume d'eau traitée par l'adoucisseur. Le volume d'eau traitée est communiqué soit par une turbine, soit par un compteur émetteur d'impulsions. Les adoucisseurs à régénération volumétrique à turbine intégrée permettent d'optimiser la consommation de sel en fonction de la quantité d'eau produite en évitant l'emploi de compteur émetteur d'impulsions et de coffret électronique qui augmentent sensiblement le coût d'investissement. Un mitigeur permet d'ajuster la dureté de l'eau à la valeur désirée au point d'utilisation (dureté résiduelle).

Ces deux types de têtes peuvent soit fonctionner de manière **mécanique**, soit de manière **électronique**. [7]

III-8-L'adoucisseur :

Se présente sous la forme ci-contre, avec bac à sel séparé, ou qu'il se présente en un seul bloc, qu'il ait 2 têtes et / ou 2 bouteilles, le principe est le même, cette figure (III-4) représente appareil d'adoucisseur

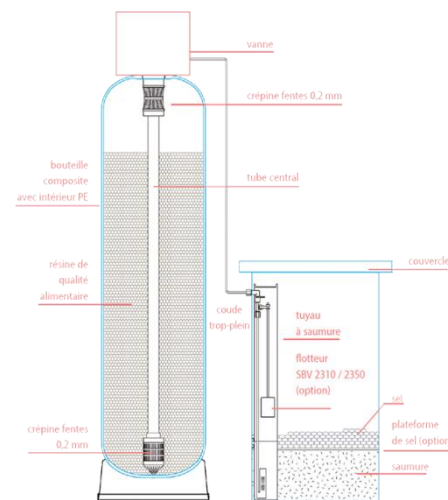


Figure (III-5) : système d'adoucisseur.

Comme son nom l'indique, cet appareil adoucit l'eau. C'est à dire qu'il va éliminer le calcaire présent dans l'eau du réseau, et ainsi vous fournir une eau "douce".

- Vos installations sont protégées contre le tartre.
- Moins de calcaire = moins de traces.

- Évite l'assèchement de la peau et des cheveux...

- **Entretien de l'adoucisseur :**

- **La fréquence de régénération** est fonction de la dureté de l'eau traitée et du volume de résine de l'adoucisseur :

(Nombre de litres de résine x 5) / Dureté de l'eau en TH = Autonomie entre 2 régénérations.

Ce réglage s'effectue lors de l'installation. En général, sur un adoucisseur ménager, elle s'effectue 1 à 2 fois par semaine.

- **Nettoyage et désinfection des résines :**

Pour éviter le développement des bactéries dans les résines, il est conseillé d'utiliser 1 à 2 fois par an, un produit type Résine Clean ou Res-clean.

- **Nettoyage du bac à sel.[12]**

III-9- Les cycles d'adoucisseur :

Les quatre phases de la régénération vont s'effectuer automatiquement les unes après les autres par l'action d'un programmeur. Pendant toutes les phases de régénération, l'appareil ne peut pas délivrer d'eau adoucie. Afin de ne pas priver l'utilisateur d'eau pendant les régénérations, les appareils sont équipés d'un by-pass automatique.

III-9-1- Le détassage :

Le première phase de régénération de détassage effectuée de bas en haut dans la bouteille et prépare le lit de résine pour le passage de la saumure. Cette étape ne dure que quelques minutes, l'eau va s'écouler à l'égout à fort débit.

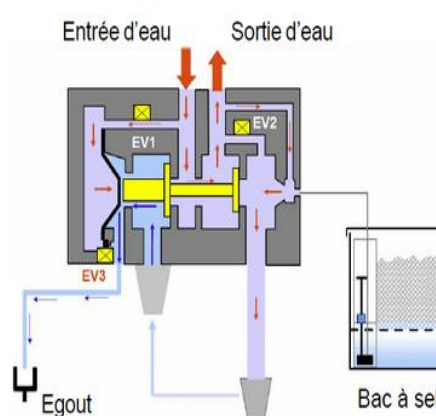
L'électrovanne n° 1

train mobile à

L'électrovanne n°2

pilote la membrane qui déplace le l'intérieur de la vanne.

est également ouverte pour



augmenter le débit d'eau à l'égout.

Figure (III-6) : adoucisseur-fonctionnement de la vanne (détassage).

III-9-2-Aspiration saumure :

Phase importante de la régénération, le saumurage s'effectue de bas en haut et apporte à la résine une solution de saumure saturée, les ions sodium vont remplacer les ions calcium et magnésium fixés précédemment sur la résine, l'eau s'écoule à l'égout à faible débit.

L'électrovanne n°2 est fermée pour forcer l'eau à passer par l'hydro-éjecteur. Une dépression est alors formée pour aspirer la saumure préparée au préalable dans le bac à sel.

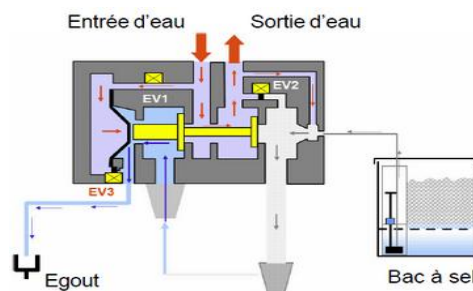


Figure (III-7) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (aspiration de la saumure).

III-9-3- Rinçage lent :

Lorsque la saumure contenue dans le bac à sel est aspirée complètement, une quantité d'eau est maintenue sur les résines afin d'éliminer les résiduels d'ions sodium, l'eau s'écoule à l'égout à faible débit.

-L'électrovanne n°2 reste fermée

-l'électrovanne n°1 maintient le train mobile dans la position de régénération.

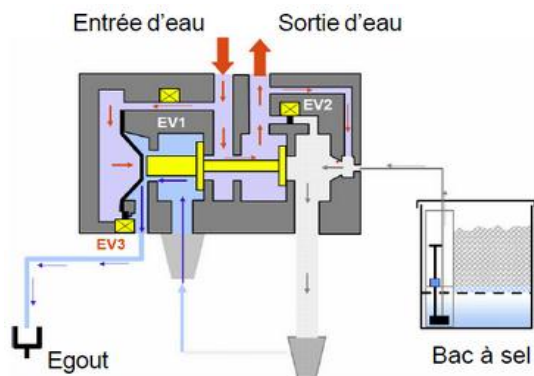


Figure (III-8) : Adoucisseur-fonctionnement de la vanne (rinçage lent).

III-9-4-Rinçage rapide :

Dernière phase de régénération, le rinçage s'effectue de bas en haut, il permet d'éliminer les éventuels résidus de sodium encore présents dans la bouteille cette étape ne dure que quelques minutes, l'eau s'écoule à l'égout à fort débit.

L'électrovanne n°1 et n°2 sont sous tension, à la suite de cette étape.

L'électrovanne n°3 s'ouvre pendant quelques minutes pour décompresser la chambre et l'eau doit s'arrêter de couler à l'égout.

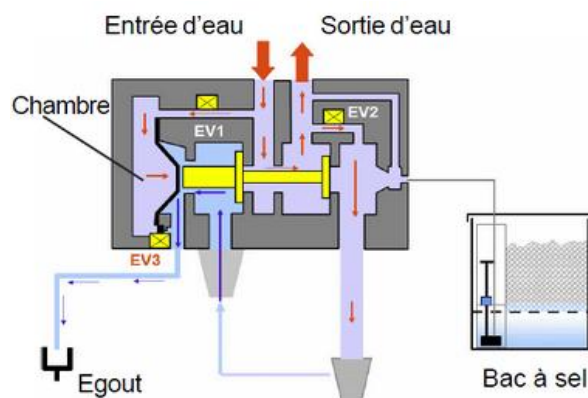


Figure (III-9) : adoucisseur-fonctionnement de la vanne (rinçage rapide).

Durant ces phases, le passage de l'eau et la saumure s'effectue toujours de bas en haut dans la bouteille (procédé contre courant) pour éviter que des passages préférentiels ne se créent dans les billes de résines. De plus, pour les adoucisseurs haut de gamme, un procédé

d'électrochloration produit du chlore in situ dans la vanne de l'adoucisseur, par électrolyse d'une solution riche en chlorure de sodium, afin de désinfecter les résines avant chaque régénération.[13]

Conclusion Générale

Conclusion générale :

Les caractéristiques d'écoulement des liquides (la vitesse, les régimes et les pertes de charge) dépendent fortement de diamètre (d) des conduites, ce paramètre (d) dans les installations industrielles se diminue par le dépôt de tartre. Cette variation influe négativement sur le comportement de l'écoulement par l'augmentation de la vitesse, le changement des régimes, la diminution des pressions et une augmentation des pertes de charge linéaire et singulière. Pour éviter ce problème des conduites, on propose une solution plus effective qui s'appelle « l'adoucissement ». Nous avons conclu que ce n'est pas une solution parfait, parce qu'il ya plusieurs inconvénients parmi ceux, il nécessite un certain temps de rinçage pour la régénération, ce qui a empêché d'élimination de la façon continu le problème de l'entartrage.

Indexe des termes utilisés :

Symbole	Signification	Unité
D	diamètre de la conduite	m
K	Hauteur de rugosité	m
F	Force de glissement entre les couches	N
g	accélération de gravitation	m/s ²
J _l	pertes de charge linéaire	J/Kg
J _s	pertes de charge singulière	J/Kg
K _s	Coefficient de pertes de charge singulière	/
L	longueur de la conduite	m
m	masses	Kg
P	Pression	Pa
Re	nombre de Reynolds	/
S	Section	m ²
S	Surfaces de contact entre deux couches	m ²
v	volume	m ³
V	Vitesse	m/s
Z	Hauteur	m
γ	Poids Volumique	N/m ³
λ	coefficient de perte de charge linéaire	/
ε	Rugosité conventionnelle	mm
ρ	Masse volumique	Kg/m ³
μ	Viscosité dynamique	kg/m.s

ν	viscosité cinématique	m^2/s
ΔV	Écart de vitesse entre deux couches	m/s
ΔZ	Distance entre deux couches	m
$^{\circ}\text{F}$	Degré français.	

Bibliographie

- [1] Riadh BEN HAMOUDA 2008, *notion de la mécanique des fluides cours et exercices corrigés*. Centre de publication universitaire TUNIS, 95P
- [2] José VAZQUEZ, *hydraulique général*, ENGEES, 60P
- [3] *mécanique des fluides*, PDF Janvier 2015 206P
- [4] Simon Vézina, *L'écoulement des fluides sans viscosité*. 1P
- [5] Daniel Huilier 2009/2010, *Écoulement en conduites-Généralités*.6P
- [6]: GHETTAS, B.2011.*contribution à l'étude qualitative et quantitative des phénomènes de corrosion et l'entartrage causés par les eaux géothermales dans les conduites d'AEP*. Mémoire de licence : université kasdi Merbah : Ouargla, 43p
- [7] :hmf.enseeiht.fr/travoux/bei/beiere/content/entartrage-et-colmatage Janvier 2015
- [8] : HANAFLI, Y.2005.*caractérisation électrochimique de l'entartrage et inhibition par l'acide hydroxypylenedi phosphomique cas de la pompe à vide de la papeterie de BABA-ALI* : université m'hamed bougarrie – boumerdes.35p.
- [9] :MEGDOUD.M(2003).*Qualité des eaux du Sahara Septentrional .Recueil des communications des Journée techniques scientifiques sur la qualité des eaux du sud*, 42p.
- [10] : datao, [eklablog.net/ocan/perso/cours et TP en ligne/les traitements des eaux.PDF](http://eklablog.net/ocan/perso/cours_et_TP_en_ligne/les_traitements_des_eaux.PDF) Janvier 2015
- [11] : MEDFOUNI, S. 2007, *Adoucissement des eaux géothermales de l'oued R'HIR .Etude comparative de deux types de chaux (Cao et Ca(OH) 2)*. Mémoire de licence université kasdi Merbah : Ouargla, 57 P
- [12] :[file:///C:/Users/Magic touch/Downloads/Water concept Principe Entretien adoucisseur.htm](file:///C:/Users/Magic%20touch/Downloads/Water%20concept%20Principe%20Entretien%20adoucisseur.htm) Janvier 2015
- [13] :[file:///C:/Users/Magic touch/Downloads/Principe de fonctionnement d'un adoucisseur E A ELYOTHERM Lyon.htm](file:///C:/Users/Magic%20touch/Downloads/Principe%20de%20fonctionnement%20d'un%20adoucisseur%20E%20A%20ELYOTHERM%20Lyon.htm) Janvier 2015

Résumé :

Parmi les problèmes causés par la dureté de l'eau qui rappellent, le phénomène de l'entartrage causé par le sel en grande quantité, dans l'eau potable dans les conduites de distribution de boisson et l'irrigation des installations.

Le problème dans cette recherche nous conduit à trouver un moyen de réduire la dureté de l'eau dans la conduite économique et les effets secondaires négatifs et l'étude sur laquelle nous avons fondé nos études dans ce traitement de l'eau en utilisant une technique de l'adoucisseur pour éliminer le calcaire présent de l'eau ,et ainsi vous une eau douce.

الملخص :

من بين المشاكل التي تخلفها المياه يمكن ذكر مشكلة الرواسب الناتجة عن الأملاح بكميات كبيرة داخل قنوات توزيع المياه الصالحة للشرب ومنشآت الري، التي تؤدي إلى نقص في قطر الأنابيب وهذا الأخير كلما زاد في نقصه يؤدي إلى انسدادها.

انطلاقاً من هذا المشكل نهتم في هذا البحث بإيجاد طريقة معالجة تقودنا إلى تخفيض نسبة رواسب المياه الموجودة داخل الأنابيب وإعطاء حل مناسب يؤخذ بعين الاعتبار الجانب الاقتصادي والتأثيرات الجانبية السلبية والدراسة التي اعتمدنا عليها في بحثنا هذا باستعمال تقنية تنقية الماء وهذه الأخيرة تساعدنا في التخلص من الترسبات .