

Chapitre I: FLUIDES HYDRAULIQUES

1. Propriétés du fluide hydraulique
- 2 Viscosité
- 3 Grades normalisés et services
- 3.1 Normes ISO – NF
- 4 Catégories courantes d'huile pour circuits hydrauliques
- 5 Huiles de synthèse
- 6 Additifs
- 7 Contrôle, surveillance et analyse des huiles
- 8 Maintenance
- 9 Ecoulement irrotationnel & Ecoulement rotationnel
- 10 Ecoulement laminaire & Ecoulement turbulent
- 11 Nombre de Reynolds
- 12 Les Pertes de Charge
- 13 Filtration
- 14 La contamination de l'air
- 15 Sources et types de contamination dans un système d'air comprimé

1 Propriétés du fluide hydraulique :

Le respect des performances prévues, la durée de vie, la sécurité de fonctionnement et en définitive la rentabilité d'une installation hydraulique sont directement influencés par le choix du fluide hydraulique.

Les fluides de base sont les suivants :

- Les huiles minérales
- Les huiles végétales
- Les huiles synthétiques
- L'eau

Ils sont utilisés sous forme de liquides homogènes (solution) ou d'émulsion.

Les principales missions d'un fluide hydraulique sont les suivantes :

- Transmission de la puissance hydraulique de la pompe jusqu'au récepteur
- Graissage de toutes les pièces en mouvement
- Protection contre la corrosion des surfaces métalliques humidifiées
- Evacuation des impuretés : boues, eau, air, etc.
- Dissipation des calories dues aux pertes provoquées par les fuites et frottements

2 Viscosité

Cette caractéristique est certainement l'une des plus importantes dans la définition d'une huile. Elle renseigne sur « **l'épaisseur** », c'est à dire sur la résistance qu'opposent les deux couches parallèles de dimensions égales d'un fluide.

Il faut distinguer la viscosité dynamique (ou absolue) et la viscosité cinématique. Dans les circuits hydrauliques, c'est la deuxième qui est prise en compte.

L'unité SI pour la viscosité cinématique est ν en mm^2/s (il existe d'autres unités de moins en moins utilisées qui sont le cSt, centi stock et le degré Engler E°)

La viscosité est déterminée par une procédure normalisée qui définit une mesure du temps d'écoulement du fluide par un capillaire.

La viscosité de l'eau est de 1

2.1 Définition physique de la Viscosité :

C'est la résistance qu'offre le fluide à l'écoulement (au glissement laminaire de deux couches liquides adjacentes l'une par rapport à l'autre).

Son contraire c'est la fluidité.

L'huile s'écoulant difficilement est très visqueuse (grande viscosité) et inversement, l'huile s'écoulant facilement est peu visqueuse (petite viscosité).

Les unités principales définissant la viscosité sont :

Le mm^2/s pour la **viscosité cinématique**. Symbole ν (**nu**) encore appelée **centistoke (cSt)**, le centième du Stoke.

Le $\text{mPa}\cdot\text{s}$ pour la **viscosité dynamique**. Symbole μ (**mu**) encore appelée, le centième du Poise. **centipoise (cP)**

2.1.1 Indice de viscosité

La notion de viscosité est liée à la notion de température :

**plus la température est élevée, plus la viscosité est faible,
plus la température est basse, plus la viscosité est élevée.**

Elle est, en principe, mesuré à $40\text{ }^\circ\text{C}$ et définie en classe allant de 10 à 150 cSt.

Plus l'indice est élevé, plus la viscosité est stable.

2.1.2 Choix de la viscosité

Primordial dans le fonctionnement d'un système hydraulique. En cas de fluctuations de la température, même dans un très large intervalle, le fluide ne doit pas devenir ni plus consistant ni plus fluide, sinon les débits aux étranglements vont varier entraînant ainsi des variations de vitesse sur les récepteurs.

Une viscosité trop élevée accroît les frottements dans le fluide (frottement laminaire) d'où augmentation de la résistance à l'écoulement. Ceci entraîne une montée de la température du fluide, un accroissement des pertes de charges (Δp) donc, une augmentation de la puissance consommée.

Une viscosité trop faible accroît les fuites internes ou externes dans les appareils ce qui diminue le rendement et accélère l'usure des pièces mobiles.

2.2 Resistance aux agents oxydant

Le vieillissement des fluides est influencé par l'oxygène, la chaleur, la lumière et les phénomènes catalytiques.

2.3 Point éclair ou point d'inflammabilité

C'est la température à laquelle il faut chauffer l'huile pour que les vapeurs produites s'enflamment aussitôt au contact d'une flamme sans que la combustion puisse continuer.

2.4 Point de feu ou point de combustion

C'est la température à laquelle il faut chauffer l'huile pour que les vapeurs produites s'enflamment au contact d'une flamme et demeurent allumées.

2.5 le point de figeage ou point d'écoulement

C'est la température à laquelle le fluide refroidi contenu dans une éprouvette inclinée ne coule plus.

2.6 le point d'aniline

Caractérise le pouvoir solvant du fluide et son comportement vis à vis des joints et tuyauteries en élastomère.

2.7 le pouvoir anti émulsion

Aptitude de l'huile à se séparer rapidement de l'eau éventuellement introduite dans le circuit.

2.8 la résistance a la formation de mousse

Évite la formation de bulle d'air provenant de joints ou de raccords non étanches ou d'un niveau trop bas dans le réservoir (l'air ou la mousse son compressible).

3 Grades normalisés et services :

3.1 Normes ISO - NF:

Plus particulièrement destinées aux huiles dites "industrielles" monogrades.

La norme ISO - NF désigne une huile par un grade et un service rendu par cette huile (ou domaine d'application). La désignation indiquée ci-après est succincte et ne donne pas toutes les caractéristiques d'une huile. La norme complète et les indications du fabricant sont donc souvent nécessaires.

Grade = viscosité de l'huile à la température de 40 °C

Huile HM 32



Type de service rendu en fonction d'une utilisation précoce

La viscosité indiquée dans le grade est fixée à 40°C avec une tolérance autour de cette valeur médiane (voir ci-dessous). Les grades sont espacés par un facteur multiplicatif de 1,5 (changer de 1 grade = varier de $\pm 50\%$ en viscosité).

Grade ISO	VG Viscosité cinématique médiane à 40 °C	Limites de viscosité	
		minimum	maximum
2	2,2	1,90	2,42
3	3,2	2,88	3,52
5	4,6	1,14	5,06
7	6,8	6,12	7,48
10	10	9,00	11,00
15	15	13,50	16,50
22	22	19,00	24,20
32	32	28,80	35,20
46	46	41,40	50,60
68	68	61,20	74,80
100	100	90,00	110,00
150	150	135,00	165,00
220	220	198,00	242,00
320	320	288,00	352,00
460	460	414,00	506,00
680	680	612,00	748,00
1000	1000	900,00	1100,00
1500	1500	1350,00	1650,00

En hydraulique industrielle, on admet qu'une viscosité comprise entre 20 et 100 mm² /s (à la température de fonctionnement) est correcte.

Cependant, il faut tenir compte de tous les organes mécaniques lubrifiés par le fluide hydraulique (roulements, engrenages...).

4 Catégories courantes d'huile pour circuits hydrauliques:

La norme DIN 51 524 et 51 525 donne ci-dessous les définitions pour les huiles hydrauliques.

Huiles minérales :

- H huiles hydrauliques sans additifs. : Ces huiles sont de moins en moins utilisées en hydraulique
- HL : huiles minérales + propriétés anti-oxydantes et anti-corrosion particulières : Elles présentent un bon comportement vis-à-vis de l'eau.

Elles sont préconisées dans les installations à moyenne pression (jusqu'à 200 bar) lorsque des additifs anti-usure ne sont pas nécessaires.

- HM : fluides HL + propriétés anti-usure particulières (pression > 200bar)
- HV : fluides HM + propriétés viscosité/température améliorées.

Fluides difficilement inflammables :

- HFA et HFB : fluides difficilement inflammables à base d'émulsion d'eau et d'huile.
- HFC fluide à base d'eau et glycol

HFD fluide synthèse(sans eau), ester phosphorique ou hydrocarbure chloré.

Ces fluides nécessitent l'utilisation de joints spéciaux (en viton), ils posent des problèmes pour la protection de l'environnement

5 Huiles de synthèse:

Ces huiles sont radicalement différentes des huiles minérales.

Pour la production d'huile minérale on extrait du pétrole certaines catégories de molécules. Mais le procédé n'est pas parfait: les molécules obtenues sont de tailles différentes, ce qui nuit à l'homogénéité de l'huile et limite ses possibilités d'application. Des produits indésirables restent également dans cette huile de base (par exemple : paraffines, solvants légers...).

Dans le cas de l'huile synthétique, au contraire, on fabrique la molécule dont on a précisément besoin, si bien que l'on obtient une huile de base dont le comportement est voisin de celui d'un corps pur. En créant un produit dont les propriétés physiques et chimiques sont prédéterminées, on fait mieux que la nature. On rajoute ensuite les additifs nécessaires pour répondre à un service voulu.

Ces huiles ont des performances élevées, en particulier pour des objectifs et des conditions de service difficiles. Cependant, elles sont chères à produire et leur disponibilité dans le monde est limitée.

De plus, le choix d'un lubrifiant synthétique dépend du problème posé. Les mélanges d'huiles de base d'origines différentes sont parfois possibles, toutefois une huile dite "**synthétique**" doit contenir moins de 15% d'huile minérale.

6 Additifs

Une huile ayant les propriétés demandées pour une utilisation donnée est constituée :
d'une **huile de base** (minérale, synthétique ...)
et d'un certain nombre **d'additifs**, ajoutant chacun une propriété particulière.

Voici quelques exemples de propriétés et d'additifs :

- **Anti oxydant** : protège les parties métalliques de la corrosion.
- **Détergent** : tensio-actif évitant les dépôts (particules, charbons ...) en maintenant en suspension dans l'huile ces dépôts.
- **Anti émulsion** : évite le mélange de fluides étrangers avec l'huile (de l'eau par exemple) et favorise la décantation de l'ensemble.
- **"Désaérant"** : favorise la séparation des gaz de l'huile.
- **Indice de viscosité** : des additifs permettent d'augmenter celui-ci.
- **Additif extrême pression** : renforce la tenue de l'huile pour des utilisations où le film d'huile a du mal à se former (engrenages en particulier).
- **Anti friction** : diminue l'usure des surfaces lubrifiées.
- **Compatibilité avec les élastomères**.

7 Contrôle, surveillance et analyse des huiles :

La surveillance des huiles en fonctionnement a deux buts essentiels:

- surveiller l'huile pour vérifier son état conforme.
- surveiller, à travers l'huile, l'état de l'installation. C'est souvent le but principal.

8 Maintenance

Afin d'assurer une maintenance de qualité il est nécessaire d'effectuer une analyse de fluide hydraulique régulièrement (basé sur un temps de fonctionnement ou sur une périodicité) pour suivre l'évolution de l'usure des composants.

Pour ce faire, il est important de mettre à niveau les centrales et circuits hydrauliques.

On devra :

1. s'assurer de l'étanchéité du circuit et du réservoir (joint de couvercle)
2. s'assurer au niveau du réservoir, qu'aucun orifice ne doit être en liaison directe avec l'extérieur (le filtre à air doit être un vrai filtre)
3. supprimer le bouchon de remplissage et le remplacer par un raccord rapide, le remplissage sera effectué par l'intermédiaire d'un groupe de remplissage et de filtration, car l'huile distribuée par les fabricants est polluée
4. à installer conformément à la norme, une prise d'échantillon pour pouvoir effectuer un prélèvement dynamique.

Cinématique des fluides : Classification des écoulements

Écoulement plan

Un écoulement est dit "**plan**" lorsque la vitesse de toutes les particules est parallèle à un plan fixe pour tout instant t . Un écoulement d'eau de pluie sur un toit peut être considéré comme un écoulement plan.

Écoulement unidirectionnel

Un écoulement est dit "**unidirectionnel**" si la vitesse de toutes les particules de fluide est parallèle à une direction fixe pour tout instant t . Un écoulement dans un tuyau droit peut être considéré comme un écoulement unidirectionnel.

Écoulement uniforme

Les vitesses de toutes les particules sont les mêmes: elles ne dépendent pas de leur position.

Écoulement permanent

Un écoulement est dit "**permanent**" lorsque la vitesse des particules et la masse volumique du fluide ne dépendent pas du temps: l'accélération de Lagrange est nulle et l'accélération d'Euler est simplifiée. On montrera que dans un écoulement permanent, il y a conservation du débit massique.

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = 0 \qquad \frac{d\rho}{dt} = 0 \qquad q_{m_{\text{entrée}}} = q_{m_{\text{sortie}}}$$

Écoulement irrotationnel & Écoulement rotationnel

Un écoulement est dit "**irrotationnel**" lorsque: $\overrightarrow{Rot} \vec{v} = \vec{\nabla} \wedge \vec{v} = \vec{0}$

L'écriture de l'accélération d'Euler est donc simplifiée:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + 0.5 * \nabla(\vec{v} \cdot \vec{v}) + (\vec{\nabla} \wedge \vec{v}) \wedge \vec{v} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + 0.5 * \nabla(\vec{v} \cdot \vec{v})$$

Par opposition, un écoulement est dit "**rotationnel**" lorsque le rotationnel de la vitesse est différent de 0.

Un liquide repose dans un récipient circulaire. À la surface de ce liquide est posé deux allumettes, indiquant deux directions perpendiculaires, assimilables à deux vecteurs orthogonaux.

Le liquide est mis en rotation. Les allumettes vont suivre ce mouvement de rotation général. Cependant, elles restent perpendiculaires et elles ne tournent pas sur elles-mêmes.



Écoulement établi & Écoulement transitoire

Un écoulement est dit **établi** lorsque le champ de vitesse ne dépend pas de la configuration initiale. **Le débit est constant.**

Par opposition, un écoulement est dit **transitoire** s'il dépend de la configuration initiale: on dit qu'on observe des phénomènes transitoires.

Par exemple, quand on ouvre un robinet, le débit n'est pas instantanément "**régulier**", on peut observer des "**à-coups**": régime transitoire.

Écoulement laminaire & Écoulement turbulent

Un écoulement est dit "**laminaire**" lorsque les particules ont une vitesse parallèle aux parois du contenant.

Par opposition, un écoulement est **turbulent** si certaines particules ont des vitesses non parallèles aux parois du contenant: présence de tourbillons (turbulences).

Une loi empirique permet de montrer qu'un écoulement est turbulent si son nombre de Reynolds R est supérieur à 2000:

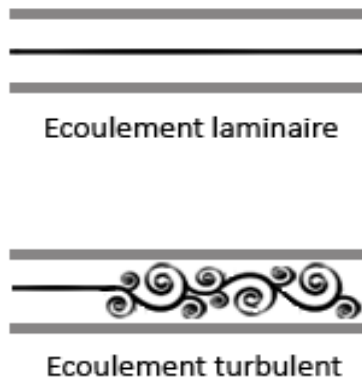
$$R = \frac{\rho V D}{\mu}$$

ρ : la masse volumique

V : la vitesse représentative de l'écoulement

D : la distance représentative de l'écoulement

μ : la viscosité du fluide



Les écoulements de fluides peuvent donc être classés selon deux catégories:

Les écoulements dits "**laminaires**" pour une vitesse d'écoulement faible par rapport à la viscosité de ce fluide.

Les écoulements dits "**turbulents**" pour des vitesses d'écoulement élevées. (toujours en fonction de la viscosité du fluide).

Il faut toujours comparer la vitesse à la viscosité du fluide.

Par exemple, si de l'eau et du pétrole s'écoulent dans le même canal à la même vitesse, il est possible que l'un soit dans un régime d'écoulement turbulent, et l'autre dans un régime laminaire. (A priori, le pétrole étant le plus visqueux des deux, c'est lui qui s'écoulera en laminaire).

Par ailleurs, un même fluide à la même vitesse peut passer d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent : la fumée d'une cigarette posée s'écoule d'abord selon un écoulement laminaire, et au bout de quelques dizaines de centimètres, l'écoulement devient turbulent.

Nombre de Reynolds

Le **nombre de Reynolds**^(Re) est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent).

Définition

Le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Ce nombre sans dimension apparaît naturellement en adimensionnant les équations de Navier-Stokes.

On le définit de la manière suivante : $Re = \frac{VL}{\nu}$

avec :

V , vitesse caractéristique du fluide [m/s]

L , dimension caractéristique [m]

ν , viscosité cinématique du fluide [m²/s]

avec : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

ρ , masse volumique du fluide [kg/m³]

μ , viscosité dynamique du fluide [Pa·s ou kg/(m·s) ou poiseuille Pl]

d'où la formulation classique : $Re = \frac{\rho VL}{\mu}$

Les unités sont indiquées à titre purement indicatif, un nombre sans dimension ayant la même valeur dans tout système d'unités cohérent.

Le nombre de Reynolds représente également le rapport (qualitatif) du transfert par convection au transfert par diffusion de la quantité de mouvement.

Il est important de noter que le nombre de Reynolds ne donne qu'un ordre de grandeur. Les taille et vitesse caractéristiques qui interviennent dans la formule sont également des ordres de grandeur.

Ainsi, pour un fluide circulant dans un tuyau cylindrique de rayon R , on pourra prendre $L = R$ (rayon) ou $L = 2R$ (diamètre) ou tout autre distance de cet ordre de grandeur selon la convention choisie, mais le nombre de Reynolds correspondant restera du même ordre de grandeur.

Les essais de maquette de navires ou d'avion sont effectués en analogie de Reynolds. Ceci veut dire qu'aux conditions d'essais, le nombre de Reynolds du modèle réduit de la maquette est égal à celui du modèle à grande échelle du véhicule.

En magnétohydrodynamique, il est aussi possible de définir un nombre de Reynolds : le nombre de Reynolds magnétique. Cependant, celui-ci n'est pas plus proche du nombre de

Reynolds dans sa définition que d'autres nombres adimensionnés utilisés en hydrodynamique pour quantifier l'importance relative de deux effets, comme le nombre de Grashof.

Nombre de Reynolds et régimes d'écoulement

En fonction des nombres de Reynolds croissants, on distingue quatre régimes principaux : régime de Stokes, régime laminaire, régime transitoire, régime turbulent.

L'écoulement de Stokes correspond aux très faibles valeurs du Reynolds (inférieures à 1). Dans ce cas les forces d'inertie liées aux vitesses étant négligeables, les forces visqueuses et les forces de pression s'équilibrent. Cette notion correspond au domaine de la micro fluidique. Pour des valeurs plus élevées, les forces d'inertie entrent en jeu : c'est le domaine de la dynamique des fluides.

On observe d'abord un écoulement laminaire avec des lignes de courant bien identifiées. Dans ce type d'écoulement l'effet de la viscosité s'atténue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des parois, les vitesses du fluide tendant à s'homogénéiser. Il est alors souvent commode de considérer que l'approximation du fluide parfait (non visqueux) est suffisante hors d'une zone proche d'une paroi, appelée couche limite. Cette dernière concentre les effets visqueux qui peuvent y être modélisés sous une forme simplifiée.

À partir d'un certain Reynolds se produit une transition qui fait apparaître des instabilités dues à l'amplification des perturbations. La valeur du Reynolds de transition et la nature des instabilités dépendent essentiellement du type d'écoulement considéré.

Ensuite, les instabilités augmentent au point de donner naissance à un phénomène chaotique dans lequel il est difficile de voir une organisation : c'est la turbulence.

Exemples :

Dans une conduite à section circulaire, la dimension caractéristique est le diamètre. L'écoulement est laminaire lorsque le nombre de Reynolds est inférieur à une valeur critique pour laquelle se produit une transition assez brutale vers le turbulent.

2300 est la valeur généralement retenue pour cette transition mais, dans des conditions soignées (paroi particulièrement lisse, stabilité de la vitesse), la transition peut se produire pour une valeur plus élevée.

On considère souvent que la transition peut se produire entre 2 000 et 3 000.

Sur un cylindre à section circulaire placé dans un écoulement, la dimension caractéristique est le diamètre. On obtient un écoulement proprement laminaire qui s'ajuste parfaitement à l'obstacle jusqu'à un nombre de Reynolds de l'ordre de 1 , un sillage turbulent apparaît à l'aval aux environs de 3 000. Entre les deux, la transition se fait à travers diverses formes de sillages tourbillonnaires.

Avec une plaque plane située dans le lit de l'écoulement, la dimension caractéristique est la distance d'un point au bord d'attaque.

Ce paramètre permet de décrire l'évolution de la couche limite. Si le bord d'attaque présente une arête émoussée, la couche limite est turbulente dès le début.

Dans le cas d'un bord effilé, la couche limite est laminaire sur une certaine longueur, puis devient turbulente ensuite.

Cette **laminarité** se maintient jusqu'à une distance qui correspond au Reynolds critique de l'ordre de 5×10^5 marquant la transition du type d'écoulement, la zone située au-delà développant une couche limite turbulente.

Lorsque la plaque plane est remplacée par un profil d'aile, la distribution d'épaisseur le long de la corde (et le gradient de pression négative associé) de certains profils dits « laminaires » stabilise la laminarité et permet de reculer le point de transition bien au-delà de 5×10^5 : des valeurs de 7×10^6 sont possibles dans des conditions aérologiques non turbulentes (difficiles à obtenir en soufflerie) sur une surface parfaitement lisse (ailes de planeurs).

Un corps profilé comme un fuselage (Piaggio P180 Avanti) peut avoir une transition reculée jusqu'à 50×10^6 , également dans des conditions idéales.

III.2.- Les Pertes de Charge

III.2.1.- Les Pertes de Charge Linéaires ou Réparties

Le calcul des pertes de charge est fondamental en mécanique des fluides et en hydraulique. Son utilisation dans le dimensionnement des conduites et des réseaux est très sollicitée. Les relations de calcul des pertes de charge, d'origine empirique, intègrent le facteur "**rugosité**" défini par la hauteur des aspérités de la surface interne de contact de la conduite.

Etant donné que ce paramètre est spécifique à chaque matériau, et qu'il dépend de la technologie et de la durée de service des conduites utilisées pour le transport du fluide, la plupart des relations de calcul aboutissent à des résultats assez différents.

a.- Notion de 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.

Une surface rugueuse peut être considérée comme étant constituée par une série de protubérances élémentaires caractérisées par une hauteur, notée k , et appelée "**Rugosité**" :

I/ FILTRATION

1/ Les différents procédés de filtration:

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide - solide par passage à travers un milieu filtrant. Cette opération est beaucoup plus rapide que la sédimentation: elle est donc plus utilisée.

On récupère après filtration soit le solide (après une cristallisation), soit le liquide (récupération d'eaux usées avant traitement et après sédimentation), soit le liquide et le solide (opération de recristallisation).

On distingue:

- **la Filtration par gravité:** le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, qui peut être du sable par exemple, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.
- **la Filtration par surpression:** la suspension arrive sous pression dans le filtre.

- **la Filtration sous pression réduite:** le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide. Lors du passage d'une suspension à travers un milieu filtrant, le fluide circule à travers les ouvertures tandis que les particules sont arrêtées.

En s'enchevêtrant, ces dernières finissent par former un second milieu filtrant pour les autres particules qui se déposent d'une manière continue sous forme de gâteau dont l'épaisseur va en croissant au fur et à mesure de l'écoulement de la suspension. La différence de pression entre l'amont et l'aval (perte de charge) a une grosse importance car elle règle la vitesse de filtration. On peut concevoir deux types de filtration:

Filtration à pression constante: on régule la différence de pression amont-aval à une valeur constante. L'épaisseur du gâteau augmentant au cours du temps, la vitesse de filtration va donc diminuer sous l'effet de l'augmentation de la perte de charge.

C'est la filtration la plus utilisée dans l'industrie.

Filtration à débit constant : on augmente au cours du temps la différence de pression amont-aval pour garder un débit constant malgré l'augmentation de perte de charge

2/ Pratique de la filtration: Le choix des milieux filtrants est vaste.

Il dépend de plusieurs facteurs: le débit et la concentration de la suspension, les caractéristiques physiques et chimiques des liquides et des solides.

On peut citer:

- **les tissus filtrants:** textiles naturels (coton, jute), toiles métalliques (fer, laiton, inox), tissus en matière plastique (nylon, PVC, polyester, téflon)
- les milieux filtrants pulvérulents: sable, charbon, diatomite

- **les matières poreuses:** porcelaine, verre, charbon, silice, métaux Il faut éviter le colmatage qui peut avoir lieu avec des particules aux formes particulières (bâtonnet par exemple) pouvant pénétrer dans les ouvertures sans les traverser. Il vaut donc mieux choisir des ouvertures plus larges qui laissent passer ces particules et reprendre la fraction de filtrat les contenant pour une nouvelle filtration avec un gâteau déjà constitué qui les arrête. Pour arrêter les petites particules, on a intérêt à procéder à la floculation de ces particules pour l'obtention de particules plus grosses et donc plus faciles à filtrer (application des flocculants dans le traitement des eaux).

On peut aussi agglomérer les particules par adsorption sur des coagulants (chaux, sulfate ferreux, magnésie).

La meilleure technique consiste à faire appel aux adjuvants de filtration qui sont des produits destinés à faciliter la formation du gâteau et le nettoyage du filtre Les principaux adjuvants sont la diatomite (Kieselguhr) et la cellulose. Ces composés ne peuvent être employés que si le liquide seul est à récupérer. La filtration est souvent suivie d'un lavage par un solvant miscible au filtrat afin d'éliminer les eaux-mères du gâteau qui contiennent des impuretés.

3/ Appareillage: Le procédé de filtration peut être continu ou discontinu.

3.1. Filtre discontinu: dans les filtres discontinus, l'opération a lieu par charge, c'est-à-dire que l'alimentation de la suspension et le chargement du solide se font par intermittence. La filtration est arrêtée quand la capacité au-dessus de la surface filtrante est remplie ou que le colmatage du filtre atteint une valeur limite.

3.1.a. Filtre presse: c'est le plus répandu. Les éléments du filtre (plateaux et cadres) sont serrés avec une presse. Les toiles filtrantes séparent les plateaux et les cadres. Le filtre fonctionne sous pression (quelques bars). Le gâteau se dépose entre les toiles, on peut alors procéder au lavage du gâteau en faisant circuler le liquide de lavage dans le filtre. Ces filtres sont simples et bon marché, par contre ils nécessitent beaucoup de main d'œuvre;

3.1.b Filtre de Nütsche: ce filtre fonctionnant sous vide est l'équivalent industriel du **Büchner** de laboratoire.

3.2 Filtre continu: dans les filtres continus, la surface filtrante fermée sur elle-même se déplace lentement devant l'alimentation; le gâteau atteint une certaine épaisseur et dès qu'il sort de la partie filtrante il est détaché par un système raclant. Un cycle de lavage puis d'essorage est souvent adjoint. Ces filtres constituent un investissement plus important mais ils ont un coût de fonctionnement moindre: ils conviennent donc aux productions importantes.

On trouve principalement des appareils fonctionnant sous vide: on peut citer les filtres rotatifs à tambour et les filtres à bande. Ils ont les mêmes applications mais les filtres à bande traitent des bouillies plus épaisses (jusqu'à 50 % de solide).

3.2.a Filtre rotatif à tambour: il est constitué par deux tambours cylindriques coaxiaux; le tambour extérieur supporte une toile filtrante. Il est divisé en plusieurs zones: - zone de filtration: le liquide est aspiré et le gâteau se dépose sur le filtre.

- zone de lavage: le gâteau est lavé grâce à un arrosage par de l'eau.

- zone d'essorage du gâteau.

- zone de séchage et décollage:

l'air comprimé est introduit par les canalisations; le gâteau est donc séché et décollé du filtre puis détaché à l'aide d'un racloir.

3.2.b Filtre à bande sans fin: une bande sans fin horizontale en caoutchouc synthétique tourne sur deux tambours dont l'un est moteur.

La bande de caoutchouc est perforée à intervalles réguliers d'orifices allongés qui passent au fur et à mesure du déroulement devant des chambres sous dépression.

Elle est revêtue d'une toile de filtration adaptée au mélange liquide-solide à séparer.

On retrouve les zones de filtration, lavage et séchage. Le gâteau est parfois détaché à l'aide d'un racloir.

La contamination de l'air comprimé est un véritable problème pour le secteur industriel

Dans les installations de production modernes, l'air comprimé joue un rôle essentiel pour les procédés de fabrication.

Que l'air comprimé vienne en contact direct avec le produit ou qu'il soit utilisé pour automatiser un processus, fournir la puissance motrice, le conditionnement, voire pour produire d'autres gaz sur le site, il est indispensable de disposer d'une alimentation en air comprimé propre, sèche et fiable pour garantir une production efficace et rentable.

Sources et types de contamination dans un système d'air comprimé

La connaissance des sources de contamination de l'air comprimé et des types de contaminants qui doivent être réduits ou éliminés est un élément indispensable à la bonne planification d'un système d'air comprimé efficace.

Dans un système d'air comprimé type, il existe dix contaminants majeurs qui doivent être éliminés ou réduits pour protéger le consommateur et faire en sorte que l'installation de production soit sûre et économique.

Ces contaminants proviennent de quatre sources différentes.

Source 1 Air atmosphérique

Les compresseurs aspirent d'énormes quantités d'air atmosphérique qui remplissent continuellement le système de contaminants invisibles tels que :

- Vapeur d'eau
- Impuretés atmosphériques
- Vapeur d'huile
- Micro-organismes

Source 2 Compresseur d'air

Outre le fait qu'il aspire des contaminants présents dans l'atmosphère, les compresseurs lubrifiés à l'huile apportent une contamination sous la forme de petites quantités d'huile issues du processus de compression. L'huile se présente sous la forme suivante :

- Huile liquide
- Aérosols huileux
- Vapeur d'huile

Après l'étage de compression, le refroidisseur intermédiaire refroidit l'air, condensant la vapeur d'eau et l'introduisant dans l'air comprimé sous la forme suivante :

- Eau liquide
- Aérosols aqueux

Sources 3 et 4 Dispositifs de stockage d'air comprimé et conduites de distribution

L'air qui sort du compresseur contient désormais huit contaminants différents.

Le réservoir d'air (dispositif de stockage) et les conduites du système qui distribuent l'air comprimé dans l'installation peuvent emmagasiner de grandes quantités de cette contamination.

De plus, ces éléments refroidissent l'air comprimé saturé, chaud, ce qui entraîne sa condensation à grande échelle, ajoutant davantage d'eau liquide dans le système et favorisant la corrosion et la croissance microbologique :

- Rouille
- Tartre

Contamination introduite par le compresseur

- Aérosols aqueux
- Eau liquide condensée
- Huile liquide
- Aérosols huileux

Contamination introduite par le réservoir d'air et les conduites de distribution

- Rouille
- Tartre

Contamination totale entrant dans le système de distribution d'air comprimé

- Vapeur d'eau
- Micro-organismes
- Impuretés atmosphériques
- Vapeur d'huile
- Aérosols aqueux
- Eau liquide condensée
- Huile liquide
- Aérosols huileux
- Rouille
- Tartre

Fin 1^{ère} partie chapitre I