

Chap 4

Contrôle, surveillance et analyse des huiles

Objectifs

- Citer les différents types de contrôle et d'analyse des lubrifiants.

I. Contrôle, surveillance des niveaux et des consommations :

- 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.*
- Un des moyens les plus simples consiste à noter la consommation d'huile de l'installation par unités de production (*temps, nombre de pièces ou de kilomètres*).
- L'évolution de cette courbe de consommation indiquera les dérives de fonctionnement et permettra de prévenir les défaillances (*maintenance préventive conditionnelle, fig.1*).

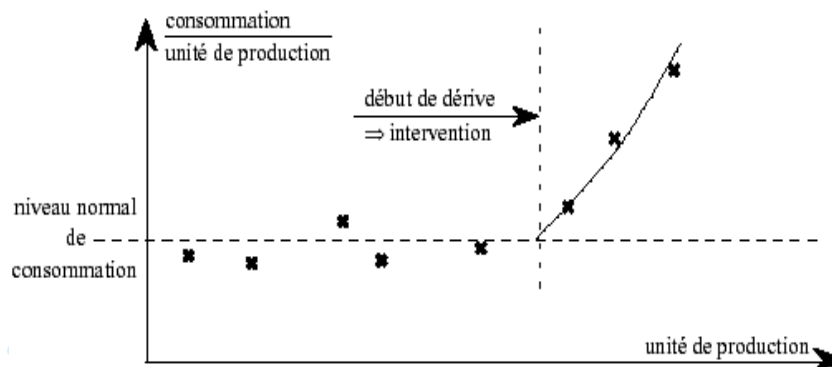


Fig 1

II. Analyse d'huile :

II.1. L'analyse d'huile : A quoi ca sert ?

- L'analyse des lubrifiants en service contribue à optimiser les coûts de maintenance (*directs et indirects*) par une meilleure connaissance de l'état des machines et de l'évolution du lubrifiant. Cette technique s'applique à l'ensemble du parc des machines lubrifiées. Cette méthode est complémentaire des suivis par analyses vibratoire et thermographique.

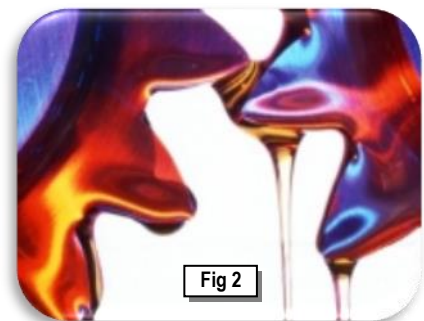


Fig 2

- L'analyse d'huile, pratiquée dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle, va permettre, par exemple, de détecter et de suivre les dysfonctionnements potentiels suivants :

Sur moteur thermique
<i>Problèmes d'étanchéité de la filtration d'air.</i>
<i>Infiltration de liquide de refroidissement.</i>
<i>Déréglage du système d'injection.</i>
<i>Etat mécanique du moteur (usure).</i>
<i>Conduite ou contrainte d'exploitation plus ou moins sévère.</i>

Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages
<i>Mauvais état d'un roulement ou d'un palier.</i>
<i>Transmission défectueuse (engrenages endommagés).</i>
<i>Performance des additives extrêmes pressions.</i>
<i>Appréciation des caractéristiques résiduelles du lubrifiant.</i>
<i>Pollution externe (eau, poussières...).</i>

Sur compresseurs (pistons, à vis et centrifuges)
<i>Etat mécanique.</i>
<i>Pollution externe (eau, silice...).</i>
<i>Evolution du lubrifiant en service (dépôts, oxydation...).</i>

Sur systèmes hydrauliques
<i>Pollution du circuit (matières solides, eau...).</i>
<i>Usure des composants (pompes, moteurs, distributeurs...).</i>
<i>Efficacité de la filtration (niveau de pollution...).</i>
<i>Caractéristiques résiduelles du lubrifiant.</i>

II.2. Rappel technologique :

- D'une manière générale, tous les mécanismes lubrifiés, à la condition que le graissage ne se fasse à fond perdu, sont susceptibles d'être surveillés dans leur fonctionnement par analyse de leur lubrifiant en service. Les résultats permettent de déceler des anomalies caractéristiques telles que :

- *La contamination par des particules internes à l'équipement.*
- *L'évolution par comparaison des résultats obtenus entre chaque analyse.*
- *Le type d'usure.*
- *La pollution par des agents extérieurs entraînant une détérioration du lubrifiant et/ou une usure par abrasion (poussière atmosphérique).*

II.3. Approche sélective :

II.3.1. Sélection des équipements concernés par l'analyse d'huile :

- Les transports des personnes, des marchandises et ferroviaire
- Les industries : *moteurs, réducteurs, les compresseurs, les systèmes hydrauliques...*
- Les matériels agricoles
- La marine, l'aviation...

II.3.2. Sélection des composants et des défaillances détectées :

- Sur moteur thermique : *problèmes d'étanchéité de la filtration d'air, infiltration de liquide de refroidissement...*
- Sur multiplicateurs, réducteurs et engrenages : *mauvais état d'un roulement ou d'un palier, transmission défectueuse (engrenages endommagés)...*
- Sur les systèmes hydrauliques : *pollution interne telle que la cavitation, défaut d'étanchéité, défaut de filtration...*

II.3.3. Identification des symptômes de dégradation et de contamination des lubrifiants :

- Annonçant l'altération des caractéristiques physiques des huiles (*performances en tant que lubrifiant*).

II.3.4. Choix de la méthode de surveillance :

a. Sur site industriel :

- Par prélèvement d'échantillons et examens visuels (*transparence, couleur, dépôts*) des lubrifiants en service.
- Par un suivi continu de l'évolution des paramètres techniques (*température, débit, pression de fonctionnement...*), des historiques des vidanges et appoints d'huile, des opérations en maintenance corrective et des anomalies de fonctionnement pour chaque machine.

b. En laboratoire :

- Par analyses physico-chimiques évaluant la qualité lubrifiante de l'huile, par la détermination de la teneur en produits d'usure, par examen microscopique et comptage de particules en suspension dans l'huile. L'interprétation de certains résultats de mesure est souvent délicate notamment parce que l'évolution, jugée anormale, d'un élément de l'analyse peut avoir plusieurs causes, mais, grâce à une meilleure connaissance des phénomènes d'usure et de dégradation des matériaux ainsi qu'au développement de nouvelles technologies assistées par l'informatique, la maintenance conditionnelle par l'analyse des huiles représentera un outil de progrès pour les responsables de maintenance.

II.3.5. Sélection des moyens de mesure qui permettent d'analyser l'échantillon prélevé :

• Moyens d'échantillonnage :

- Le pistolet vampire (*pompe*), la seringue, la vidange...

• Instrumentation associée :

- Le viscosimètre de type Houillon, l'Aquatest, la chromatographie en phase gazeuse, la méthode Karl Fisher, la mesure du point éclair en vase clos, l'analyseur photométrique de la tache, le spectromètre à absorption infrarouge ou d'émission à torche à plasma, le magnétiseur de particules, le compteur de particules...

II.3.6. Sélection des moyens de traitement associés aux outils d'acquisition :

- Plusieurs modes opératoire peuvent être appliqués à un même échantillon, d'une part pour analyser différents paramètres caractéristiques de l'huile, d'autre part pour établir un diagnostic objectif de plusieurs techniques concordant sur la même analyse. Aussi, cette sélection dépend de la requête émise par le service qui fait appel à l'analyse des huiles (*politique de maintenance liée à l'équipement concerné*). Une forte expérience, un travail de participation, sont des atouts qui permettent de définir les actions à entreprendre. Des plans d'analyses sont préétablis par les laboratoires (*plan d'analyse moteur, engrenages sous carters, etc.*).

II.4. Contenu de l'étude :

II.4.1. Limites actuelles :

- Elles concernent tout d'abord l'investissement important que représente le matériel nécessaire à la réalisation des analyses. En effet, les prestataires qui s'intéressent à ces techniques et qui distribuent ces outils sont encore aujourd'hui peu nombreux. Les laboratoires spécialisés, de par leur expérience, contribuent alors à la bonne exploitation des résultats obtenus.

II.4.2. Description des différents types d'analyse

a. Analyses physico-chimiques :

a.1. La viscosité :

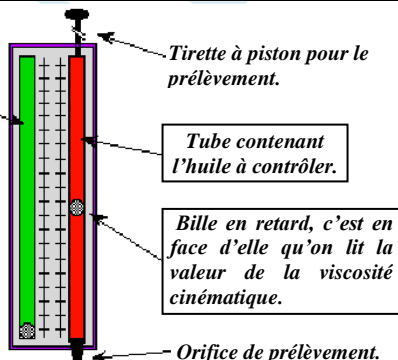
- La viscosité est essentielle puisque la comparaison avec celle du lubrifiant usagé permet de vérifier ses propriétés d'écoulement mais aussi son éventuelle dilution, par du carburant par exemple. Selon la norme *NF T 60-100*, il faut mesurer le temps d'écoulement d'une quantité de lubrifiant à travers un capillaire pourvu de deux repères déterminant une constante à une température donnée.

⇒ Contrôle de la viscosité :

- Le contrôle de cette viscosité peut se faire à l'aide de plusieurs moyens, quelques uns sont décrits ci-après :

Viscosimètre à billes

- On compare la vitesse de descente de deux billes dans deux tubes contenant respectivement, l'un l'huile à contrôler et l'autre une huile de référence. On lit directement la viscosité cinématique en face de la bille restée en retard.



Tirette à piston pour le prélèvement.

Tube contenant l'huile à contrôler.

Bille en retard, c'est en face d'elle qu'on lit la valeur de la viscosité cinématique.

Orifice de prélèvement.

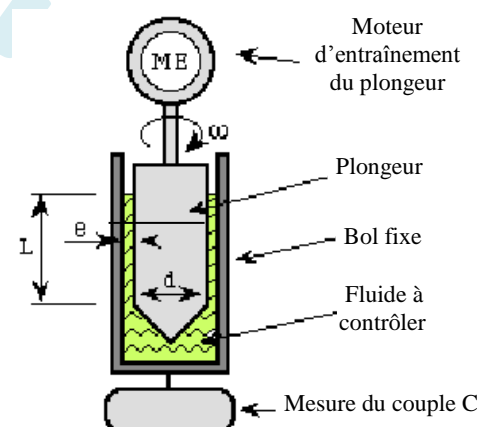
La température des deux tubes doit être la même.

Fig 3

Rhéomètre

- Cet appareil mesure la viscosité dynamique de tous les fluides (*newtoniens ou non*). Cet appareil de grande précision est peu employé pour les huiles dans l'industrie, car son utilisation est plus délicate et son prix important. De la valeur du couple mesuré on déduit la viscosité dynamique μ . (*fig.4*).

- Le bol peut également être chauffé pour des essais à température.



Moteur d'entraînement du plongeur

Plongeur

Bol fixe

Fluide à contrôler

Mesure du couple C

Fig 4

$$C = \mu.L. \frac{\pi.d^3}{4.e} .w$$

Viscosimètre Engler

- Un des appareils courants en Europe est le viscosimètre Engler. La viscosité en degrés Engler était le quotient du temps d'écoulement de **20 cm³** d'huile à la température fixée, par le temps d'écoulement, déterminé une fois pour toutes, de **200 cm³** d'eau à **20 °C**.

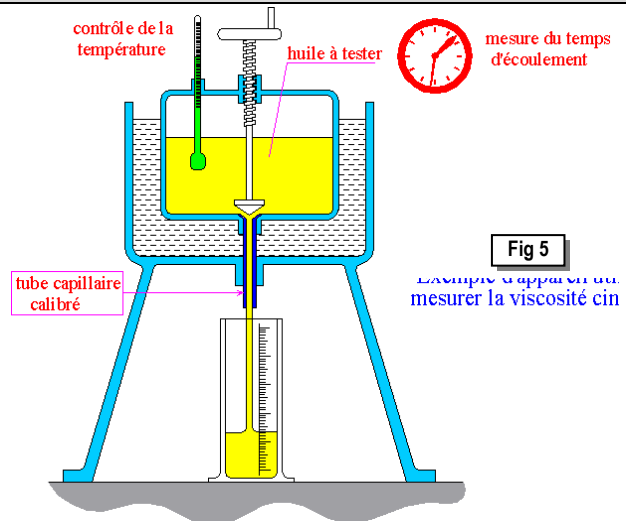
- Le temps était pris directement comme mesure dans le viscosimètre anglais Redwood et dans le viscosimètre américain Saybolt, tous deux de même type que le viscosimètre Engler. Un abaque permet la conversion des degrés Engler, ou des secondes Redwood, ou des secondes Saybolt, en [**mm²/s**].

Viscosimètre absolu

- Les viscosimètres modernes, dits viscosimètres « *absolus* », sont par exemple constitués d'un tube capillaire parfaitement calibré, dans lequel on fait couler l'huile à une certaine température, sous une dépression constante ou par gravité, un étalonnage étant réalisé à l'aide de fluides de référence de viscosité connue.

- Dans le premier cas, on mesure la durée de remplissage d'une capacité de faible volume surmontant le capillaire que l'huile traverse de bas en haut, ce qui permet d'accéder directement à la *viscosité dynamique*.

- Dans le second cas, la même capacité étant remplie par aspiration, on la laisse se vider à travers le capillaire, ce qui est plus simple et plus rapide, mais ne donne que la *viscosité cinématique*.



Viscosimètre empirique

- Les *viscosimètres empiriques*, plus ou moins abandonnés, étaient des réservoirs percés d'un trou de petit diamètre. La durée d'écoulement d'un volume normalisé d'huile était prise comme telle ou rapportée à un temps de référence. Ceci donnait une évaluation relative de la viscosité cinématique, l'écoulement étant provoqué par la pesanteur.

a.2. L'indice de viscosité (VI) :

- Caractérise le comportement de la viscosité en fonction de la température. Pour analyser l'huile donnée, on choisit deux huiles de référence, une huile 0 et une huile 100 ayant même viscosité à 100°C que l'huile à caractériser puis on compare leur viscosité cinématique à 40°C.

a.3. La recherche et le dosage d'eau :

- Par Aquatest ou par la méthode du réactif Karl Fischer selon la norme *ASTM D-1744-64* ou par chromatographie en phase gazeuse (*CPG*), permettent de déterminer de la teneur en eau contenu dans un volume donné d'huile en service.

a.4. La mesure du point éclair en vase clos :

- Selon la norme *NF T 60-118* à l'aide de l'appareil Pensky Martens, permet d'estimer le niveau de dilution par le combustible d'un lubrifiant usagé.

a.5. L'essai à la tâche :

- Analyse photométrique évaluant le pouvoir dispersant résiduel et la concentration des résidus insolubles de la combustion d'une huile usagée. Le démerite pondéré (DP) ainsi mesuré représente une combinaison du manque de dispersion de l'huile et la pollution par des produits insolubles.

a.6. L'indice d'Acide Total (TAN) :

- Est utilisé pour des lubrifiants dont le temps de service est élevé et permet de vérifier le niveau d'acidité du lubrifiant, de déterminer l'oxydation de l'huile, la présence de contaminants et la dépréciation des additifs. Il est mesuré suivant les normes *NF T 60-112* et *ASTM D664*. Lorsque l'acidité devient trop importante et donc corrosive, l'indice d'acidité total devient un déclencheur de vidange.

a.7. Indice de Base Total (TBN) :

- Permet de vérifier la réserve d'alcalinité de l'huile selon norme *ASTMD 2896*. Ce contrôle permet d'apprécier la faculté du produit à rester en service et de vérifier l'aptitude du lubrifiant à neutraliser l'acidité contenue dans l'huile, devenant corrosive pour les éléments métalliques de l'organe lubrifié.

b. Analyses spectrométriques

b.1. Analyse spectrométrique à émission optique :

- Permet de déterminer de manière rapide (*Analyse la lumière émise par la combustion « plasma » à très haute température d'un échantillon d'huile*) les concentrations, exprimées en ppm (*particules par million*) en masse, des différents éléments présents dans les huiles sous forme d'additifs (*calcium, magnésium...*), de particules d'usure métalliques (*fer, nickel, chrome, étain, cuivre, aluminium...*), ou de contaminants solides divers (*poussières atmosphériques, silicone...*).

- L'analyse de ces constituants permet de savoir ce qui se passe dans l'installation (*par exemple : l'apparition d'un taux anormal d'étain ou d'aluminium indiquera une usure anormale des coussinets dans un moteur*).

b.2. Analyse spectrométrique à absorption :

- Permet, par une décomposition d'une lumière hors du spectre visible, de déterminer la structure chimique générale d'un corps ou d'un mélange de corps ainsi que la concentration dans le mélange des composés à l'aide d'un rayonnement infrarouge. La spectrométrie d'absorption permet d'identifier la nature des hydrocarbures de l'huile de base, la nature des additifs et de suivre leur état par une analyse différentielle *huile neuve / huile en service*.

c. Pollution gravimétrique :

- Cette méthode est principalement utilisée pour le contrôle des fluides dont la contamination particulaire est élevée (*fluides de lubrification et hydraulique sans exigence particulière de propreté*).

- Elle renseigne sur le niveau de contamination globale d'un fluide, et fournit par conséquent des informations sur la propreté du circuit.

d. Comptage de particules :

- Surveillance des dimensions et des quantités de particules contaminantes solides dans les huiles hydrauliques. Le niveau de propreté ou de contamination est établi selon le code *ISO 4406*.

Nb : Si l'échantillon contient plus de *300 ppm* d'eau (*c'est-à-dire l'équivalent de 0,3 % d'eau présent dans l'échantillon*), ce test ne peut être effectué. Les méthodes employées (*en laboratoire*) sont des comptages au microscope et automatique.

⇒ **Contrôle des particules :**

Contrôle des particules par comptage

- On filtre un échantillon d'huile sur un filtre très fin (*0,8 à 1,2 μm par exemple*) puis on compte les particules insolubles qui ont été arrêtées, suivant leur taille.

- L'observation du filtre permet de compter les particules par tailles normalisées. Le nombre de particules dans chaque taille est ensuite ramené à un échantillon de *100 cm³*. On détermine ensuite une classe de pollution pour chaque taille. L'ensemble de ces classes forme le code de pollution de l'huile.

- **Le nombre le plus grand de ce code est la classe de pollution de l'huile** (*plus le nombre de la classe est élevé et plus l'huile est polluée*).

- On vérifie alors si l'huile est conforme pour l'utilisation que l'on en fait. On peut également

noter l'élévation de la pollution au cours du temps pour noter les dérives (*maintenance préventive conditionnelle*).

- Le tableau ci-dessous illustre les classes de pollution définies par la norme NF E 48-655.

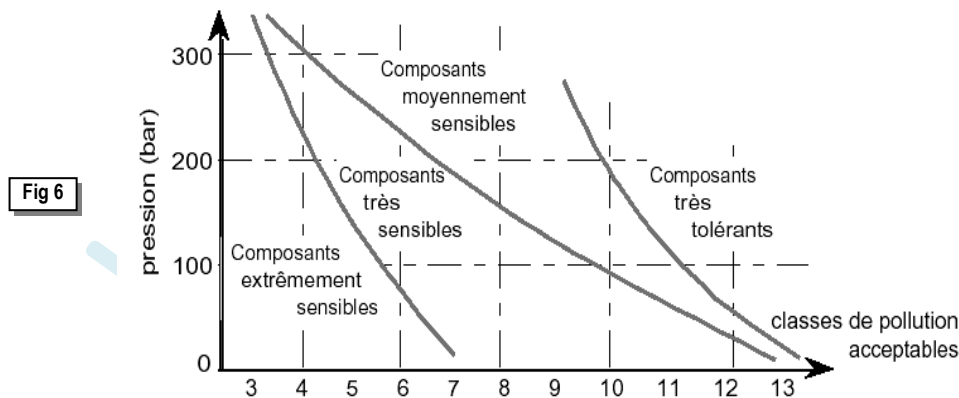
Tailles (μm)	Classes de pollution											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[2-5[	2500	5000	10000	20000	40000	80000	160000	320000	640000	1280000	2560000	5120000
[5-15[	500	1000	2000	4000	8000	16000	32000	64000	128000	256000	512000	1024000
[15-25[	89	178	356	712	1425	2850	5700	11400	22800	45600	91200	182400
[25-50[	16	32	63	126	253	506	1012	2025	4050	8100	16200	32400
[50-100[	3	6	11	22	45	90	180	360	720	1440	2880	5760
≥ 100	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024

Nombres maximaux de particules, par tailles, rapportés à 100 ml de fluide analysé

- Classes de pollution recommandées (à titre indicatif) :

Composantes hydrauliques	Classes
Servomécanismes de haute précision	classes 3 à 4
Circuits avec servovalves	classes 5 à 6
Hydraulique haute pression (<i>pistons</i>)	classes 6 à 8
Hydraulique moyenne et basse pression	classes 9 à 10

- Détermination de la classe de pollution d'un fluide (*huile*) en fonction de la pression de service et de la sensibilité des composantes hydrauliques utilisées.



Contrôle des particules par gravimétrie

- On effectue la même manœuvre que précédemment, mais on mesure par pesée la différence de masse du filtre entre avant et après la filtration de l'échantillon. La masse totale des particules permet de désigner également une classe de pollution normalisée. Ce contrôle est plus délicat à réaliser que le précédent.

Contrôle des particules par séparation magnétique

- On sépare les particules ferreuses d'une huile grâce à un champ magnétique. L'observation de celles-ci au microscope permet de déterminer le taux et le type d'usure. Les particules non magnétiques échappent bien sûr au contrôle.

e. Analyses ferrographiques :

e.1. Analyse ferrographique quantitative (ou à lecture directe) :

- Permet de déterminer des quantités relatives de petites et grosses particules ferreuses pour indiquer tout changement dans le taux et la sévérité de l'usure dans les roulements à éléments rotatifs et les réducteurs à engrenages.

e.2. Analyse ferrographique analytique :

- Procédure de diagnostic très avancé pour détecter les grosses particules jusqu'à 100 µm. L'examen microscopique des particules d'usure, des contaminants et des produits de dégradation par oxydation en suspension dans un échantillon d'huile usée, informe sur l'évolution du mode d'usure. Elle est utilisée pour effectuer une étude approfondie des particules contaminantes lorsque la ferrographie à lecture directe indique une usure importante ou anormale. Elle est également utilisée pour les systèmes hydrauliques complexes.

II.5. Combien ça coûte ?

- Des prix moyens observés sur le marché ont été rassemblés pour orienter le choix des utilisateurs potentiels. Ils sont donnés à titre indicatif et ne peuvent constituer une référence commerciale que seuls les prestataires pourront donner de façon fiable.

- Paramètres de base (viscosité, % d'eau, métaux, usure) : 30 €
- Programme d'analyse complet pour industriels : 45 à 75 €
- Analyses spécifiques en laboratoire : 75 à 150 €

III. L'élimination des huiles usagées :

III.1. Qu'est ce qu'une huile usagée ?

- La lubrification des machines industrielles et des véhicules ou engins à moteur thermique nécessite des lubrifiants élaborés. Lors de leur utilisation, une partie des lubrifiants est consommée, une autre partie (les huiles usagées), peut être récupérée et collectée.

- Il faut distinguer deux types d'huiles usagées :

Les huiles usagées « claires »	<i>D'origine industrielle et légèrement détériorées à l'usage, sont facilement récupérables par simple purification (filtration, centrifugation, ...).</i>
Les huiles usagées « noires »	<i>Provenant principalement de la lubrification automobile, ont subi des traitements thermiques et mécaniques sévères qui les ont fortement chargées en métaux, résidus de combustion, etc.</i>

III.2. Que faire des huiles usagées ?

- Les huiles usagées peuvent suivre différentes filières de traitement :

- La régénération consiste à retraiter les huiles usagées en raffinerie en vue de produire des huiles de base.
- Le recyclage permet d'utiliser le produit dans des installations industrielles (charges de cracking catalytique, diesel marine...).
- La valorisation énergétique consiste à utiliser l'huile usagée, éventuellement prétraitée, comme combustible dans les cimenteries et les chaufourniers. Le pouvoir calorifique d'une huile usagée est en effet à peu près équivalent à celui d'un combustible traditionnel.

III. 3. Séparation efficace :



Fig 7

Décanteur CC 458



Fig 8

Séparateur OSD 6

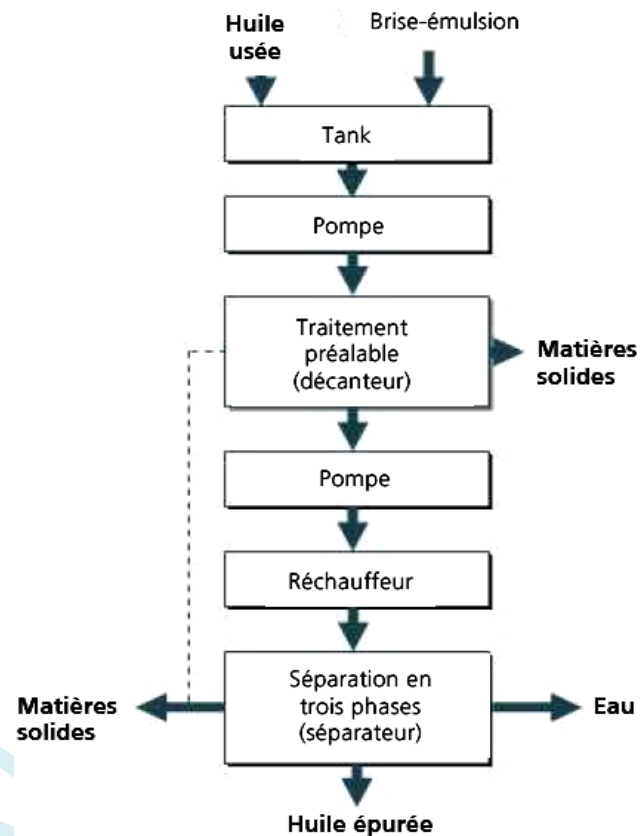


Fig 9

La séparation mécanique utilisant des séparateurs et décanteurs centrifuges est prédestinée pour le traitement de boues et d'effluents contenant de l'huile

- Dans le premier étage du procédé, des décanteurs sont utilisés pour l'élimination d'impuretés grossières et pour la clarification ou la séparation du mélange boues huile.

III.3.1. Mode de travail :

- L'huile usée s'écoule dans le bol du décanteur à travers l'alimentation. Sous l'action des forces centrifuges, les particules solides sont appliquées contre la paroi du bol, d'où la vis transporteuse les véhiculée vers la sortie des solides. Le liquide clarifié s'écoule librement ou est refoulé sous pression.
- Selon les exigences du procédé, on peut utiliser un décanteur deux ou trois phases afin d'obtenir un effet de séparation optimal pour les matières solides, pour l'huile et pour l'eau.
- Le séparatrice auto débourbeur installé en aval est utilisé pour le traitement efficace de la phase liquide et des matières solides, dans le but d'achever une meilleure qualité d'huile ou d'eau.

III.3.2. Le résultat :

- L'huile ainsi récupérée est un combustible de valeur. L'eau nécessite un traitement ultérieur.

III.3.3. Solutions et profit :

- L'huile peut être commercialisée de manière profitable ou utilisée en raffinage comme huile de base, ou bien mise en valeur comme produit de raffinage secondaire.
- Protection des ressources d'énergie fossiles.
- Réduction des volumes et des coûts d'élimination.