

Chapitre 1 : Introduction et Rappels

1. Les fluides hydrauliques

a). **Définition d'un fluide** : les fluides sont des corps dont les molécules sont très mobiles les uns par rapport aux autres.

Un fluide prend automatiquement la forme du récipient qui le contient

On peut classer les fluides en deux groupes : des liquides et des gaz.

Les liquides ont un volume propre tant que les gaz occupent tout le volume qui lui est offert

b). **Compressibilité des fluides** : on appelle un fluide incompressible lorsque la masse volumique ρ est indépendante de la pression P et de la température T . les liquides sont très peu compressibles.

Pratiquement ; on considère que les liquides sont incompressibles et les gaz sont compressibles.

c). **Fluide parfait- fluide réel**

Un fluide parfait est un fluide dont les molécules se déplacent sans aucun frottement les uns par rapport aux autres, donc sans viscosité $\mu=0$, (c'est théorique) [1].

Un fluide est réel lorsque la viscosité $\mu \neq 0$

2. Les différents types de fluides hydrauliques:

Les huiles hydrauliques les plus utilisées sont :

Huile minérale [2]

- **H** : Huiles hydrauliques sans additifs. Ces huiles sont de moins en moins utilisées en hydraulique
- **HL**: Huiles minérales + propriétés anti-oxydantes et anticorrosion 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 additives anti-usures ne sont pas nécessaires.
- **HM** : Fluides HL + propriétés anti-usure particulières (pression > 200bar)
- **HV** : Fluides HM + propriétés viscosité/température améliorées.

Fluides difficilement inflammables [2] :

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, ils posent des problèmes pour la protection de l'environnement.

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 ...).
- 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.

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...)[2].

- 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. 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.

3. 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.

Contrôle de l'eau :

La présence d'eau dans un circuit hydraulique provoque des dégâts graves: oxydation, destruction des additifs, colmatage des filtres... Cette eau provient généralement d'une condensation (dans la bache, par exemple), mais aussi de pénétration par les joints (vérins, arbres de moteur...). La teneur maximale généralement tolérée est de 0,05% [2].

Maintenance

Afin d'assurer une maintenance de qualité il est nécessaire d'effectuer une analyse du 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 [2].

On devra

- S'assurer de l'étanchéité du circuit et du réservoir (joint de couvercle)
- 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 filtre bien nettoyé).
- 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
- À installer conformément à la norme, une prise d'échantillon pour pouvoir effectuer un prélèvement dynamique.

4. Rôle des fluides hydrauliques :

Les fluides hydrauliques ont pour rôle de transmettre l'énergie fournie par la pompe aux organes récepteurs tels que les vérins et les moteurs hydrauliques. Ils doivent présenter des qualités suffisantes pour assurer un bon fonctionnement avec un rendement optimum :

Le fluide a donc deux fonctions possibles :

- Transmettre l'énergie
- Lubrifier et protéger.

Pour remplir ses deux fonctions L'huile doit avoir les caractéristiques suivantes :

5. Les caractéristiques des fluides hydrauliques

- Viscosité appropriée ;
- Variation de la viscosité, en fonction de la température, la plus faible possible;
- Pompabilité à la température minimale d'utilisation;
- Faible compressibilité due à la présence d'air;
- Absence de moussage;
- Désaération rapide ;
- Propriétés anti-usure ;
- Propriétés anti-rouille, anti-corrosive et résistance à l'oxydation ;
- Stabilité des propriétés ;
- Résistance à l'oxydation ;
- Résistance au cisaillement.

6. Choix d'un fluide hydraulique

Le choix d'un fluide est très important afin d'obtenir de son installation une efficacité, un rendement et une longévité optimaux. Le fluide devra répondre aux exigences de sécurité, du matériel et de la maintenance.

Les critères de sélection sont :

- Danger d'incendie,
- Température de service continu et de pointe avec également la température de démarrage (viscosité appropriée),
- Présence d'eau,
- Compatibilité avec le matériel (métaux sensibles à la corrosion),
- Toxicité,
- Environnement,
- Coût.

7. Facteurs de maintenance d'une huile

Pour qu'une huile puisse être efficace dans le temps, afin d'éviter une détérioration prématurée de l'installation, elle doit conserver au maximum ses propriétés. Pour cela il convient de respecter certaines règles de maintenance suivantes [2] :

- Eviter le contact avec l'extérieur si ce n'est à travers le filtre à air du réservoir (propre),
- Eviter une température excessive de l'huile dans l'installation (prévoir un refroidisseur),
- Respecter la filtration imposée par le constructeur,
- Changer régulièrement les filtres,
- Vérifier le niveau d'huile (entre mini et maxi),
- Faire l'appoint d'huile à travers un groupe de filtration (conserver la même huile),
- Prendre des échantillons pour analyse,
- Utiliser des flexibles et des joints compatibles avec le fluide,
- Contrôler la teneur en eau pour des fluides de catégorie HFA - HFB - HFC.

8. Propriétés des fluides hydrauliques

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 :

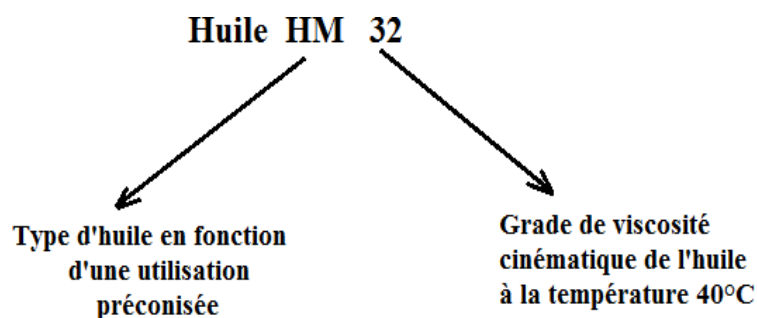
- Transmission de la puissance hydraulique de la pompe jusqu'au récepteur,
- Graissage de toutes les pièces en mouvement,
- Protection contre la corrosion des surfaces métalliques humidifiées,
- Evacuation des impuretés : boues, eau, air, etc.
- Dissipation des calories dues aux pertes provoquées par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

9. Grades normalisés et services

Normes ISO

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 [2].



La viscosité indiquée dans le grade est fixée à 40°C avec une tolérance autour de cette valeur médiane (voir le tableau ci-dessous [2]). 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

10. Viscosité

La viscosité caractérise la résistance à l'écoulement d'un fluide. Cette résistance résulte d'une apposition de déplacement relatif des molécules les unes sur les autres.

La viscosité d'un fluide varie avec :

- La nature du fluide,
- La température,
- La pression.

La viscosité est doublée pour une pression de 300 à 350 bars [3].

- Coefficient de viscosité dynamique « μ » : exprimé dans le système international en Poiseuille (Pl) ou en Pascal seconde (Pa.s).
- Coefficient de viscosité cinématique « ν » : exprimé dans le système international en mètre carré par seconde (m²/s). On utilise souvent le stokes (St).

D'où : 1st=10⁻⁴m²/s.

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

Avec ρ est la masse volumique du fluide.

Unités de viscosité

- Le centistoke ou mm²/s,
- Seconds SAYBOLT universal (USA),
- Seconds REDWOOD (Grande Bretagne).

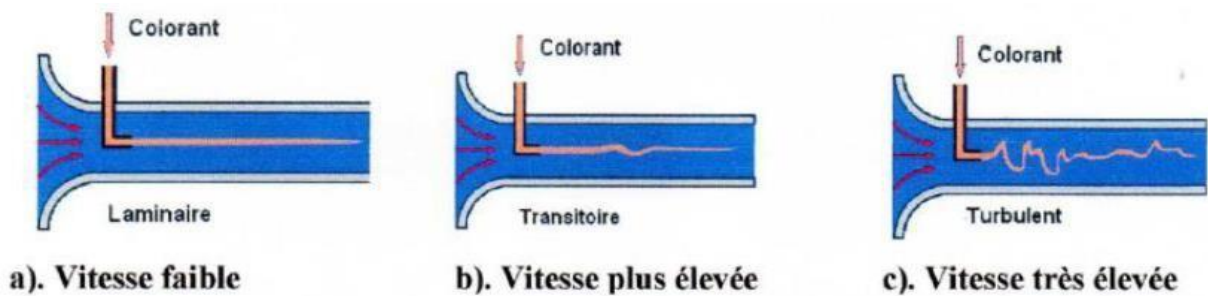
L'échelle couramment employée est le Centistoke (CST) ou mm²/s.

11. Influence de la température sur la viscosité

- Pour les liquides : si la température T° augmente, la viscosité ν diminue.
- Pour les gaz : si la température T° augmente, la viscosité ν augmente aussi.

12. Le régime d'écoulement

Expérience : soit un courant d'eau qui circule dans une conduite à section circulaire. On introduit un filet de colorant dans l'axe de la conduite. Suivant la vitesse d'écoulement de l'eau, on peut observer les phénomènes suivants [3] :



- 1) **Régime laminaire** : (cas a) le fluide s'écoule en couches cylindriques coaxiales ayant pour axe le centre de la conduite.
- 2) **Régime transitoire** : (cas b) c'est une transition entre le régime laminaire et ce lui turbulent.
- 3) **Régime turbulent** : (cas c) formation du mouvement turbulent dans le fluide. Cette expérience est faite par Reynolds en faisant varier le diamètre de la conduite, la température le débit etc...) pour des divers fluides.

13. Le nombre de Reynolds

La détermination du régime d'écoulement se fait par le calcul d'un nombre sans dimensions appelé nombre de Reynolds R_e :

$$R_e = \frac{D \cdot u \cdot \rho}{\mu} = \frac{Du}{\nu}$$

Avec :

D : Diamètre de la conduite (en m) ;

U : Vitesse moyenne d'écoulement (en m/S)

ρ : Masse volumique du fluide (en kg/m³)

μ : Coefficient de viscosité dynamique (en Pa.S)

ν : Coefficient de viscosité cinématique (en m²/S)

- Si $R_e < 2000$, le régime est laminaire.
- Si $R_e > 3000$, le régime est turbulent.
- Si $2000 < R_e < 3000$, le régime est transitoire.

Remarque : si la section n'est pas circulaire, on définit le diamètre équivalent

$$(D_e) \text{ par : } D_e = \frac{4 \cdot \text{la section de la conduite}}{\text{le périmètre mouillé par le fluide}}$$

14. Théorème de Bernoulli pour un fluide réel

Lorsque le fluide est réel la viscosité est non nulle, alors au cours de déplacement du fluide, les différentes couches frottent les unes contre les autres et contre les parois qui n'est pas parfaitement lisses d'où il y a une perte sous forme de dégagement d'énergie; cette perte est appelée perte de charge.

La relation de Bernoulli s'écrit sous la forme suivante :

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \Delta H_{1,2}$$

$\Delta H_{1,2}$: C'est l'ensemble des pertes de charges entre (1) et (2) exprimé en hauteur.

Les pertes de charge peuvent être exprimées en pression : $\Delta P_{1,2} = \rho g \Delta H_{1,2}$

15. Les pertes de charges

Les pertes de charge sont à l'origine :

- Des frottements entre les différentes couches de liquide et des frottements entre le liquide et la paroi interne de la conduite le long de l'écoulement : ce sont les pertes de charge régulières (linéaire).
- De la résistance à l'écoulement provoqué par les accidents de parcours (vannes, coudes, etc...) ; ce sont les pertes de charges singulières ou localisés

a) Les pertes de charge régulières : ΔH_r

Soit un écoulement permanent d'un liquide dans une conduite de diamètre D .

La perte de charge entre deux points séparés d'une longueur L , est de la forme:

$$\Delta H_r = \lambda \frac{D}{L} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Avec :

V : Vitesse moyenne du fluide

λ : Coefficient de perte de charge régulière

Pour déterminer le coefficient de perte de charge régulière, on fait souvent appel à des formules empiriques [3], tel que :

- Si l'écoulement est laminaire, nous avons la loi de **Poiseuille** : $\lambda = \frac{64}{R_e}$
- Si l'écoulement est turbulent, on a deux cas :
 - Turbulent, $R_e < 10^5$, on a la loi de **Blasius** : $\lambda = 0,316 \cdot R_e^{-1/4}$
 - Turbulent, $R_e > 10^5$, on a la loi de **Biénich** : $\lambda = 0,79 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{D}}$

Avec : ε est la hauteur moyenne des aspérités (mm). En pratique pour les tubes en acier soudés $\varepsilon \approx [0.15 ; 0.25]$

b) **Les pertes de charge singulières** ΔH_s

$$\Delta H_s = k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

K : est en fonction des caractéristiques géométriques et du nombre de Reynolds.

16. la 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) [4].

Les différents procédés de filtration: 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 filtrant, 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:

- **La filtration à pression constante:** on règle 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.
- **La 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.

17. L'humidité de l'air

L'air ambiant d'un local, quel qu'il soit, contient une certaine quantité d'eau, présente sous forme de vapeur ; on a par conséquent affaire à un mélange binaire d'air sec et de vapeur d'eau.

Air humide : Air sec + vapeur d'eau = mélange de gaz parfaits

Dans un bâtiment, cette quantité de vapeur est variable suivant les pièces et leur occupation.

On peut d'ailleurs la caractériser de diverses manières [5]:

- Soit par la teneur en eau de l'air (Humidité absolue)
- Soit par le degré hygrométrique de l'air (Humidité relative)
- Soit par la pression partielle de la vapeur contenu dans l'air d'un local

La teneur en eau

La teneur en eau de l'air d'un local est également appelée l'humidité absolue ou encore humidité spécifique de l'air de ce local.

Elle est notée r ou r^S . On trouve également les notations: x ou w .

Il s'agit du rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse d'air sec:

$$r^S = \frac{m_v}{m_{as}}$$

Le degré hygrométrique

Le degré hygrométrique de l'air d'un local est également appelé humidité relative

On compare en fait la teneur en eau d'un air ambiant à la teneur en eau qu'il aurait s'il était saturé, c'est-à-dire s'il ne pouvait plus contenir d'eau sous forme de vapeur, à la température θ_s :

$$H_r = \frac{r^S}{r_{sat}^S}$$

D'où l'appellation d'humidité relative!

18. Contamination de l'air par des particules solides

Définition : Il existe un grand nombre de termes utilisés couramment pour décrire la pollution particulaire.

On appelle poussière les particules solides de dimensions et de provenances diverses pouvant rester un certain temps en suspension dans un gaz.

Ces particules ont des diamètres aérodynamiques moyens inférieurs respectivement à 10 et 2.5 μm , c'est sur cette catégorie de particules qui pose essentiellement la surveillance depuis des années, car elles correspondent aux particules respirables par l'être humain et utilisables comme combustibles dans les moteurs. C'est pour cette raison l'accent est mis aujourd'hui à la filtration [6].

19. Les différents types de filtre à air

Le procédé de filtration peut être continu ou discontinu.

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.

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). On peut alors procéder au lavage du plateau en faisant circuler le liquide de lavage dans le filtre.

Ces filtres sont simples; par contre ils nécessitent beaucoup de main d'œuvre.

Filtre de Nütsche: Ce filtre fonctionnant sous vide est l'équivalent industriel du Buchner de laboratoire.

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).

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; du déroulement devant des chambres sous dépression.

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.

20. Les grandeurs hydrauliques

a)- La Pression

Lorsqu'une force s'exerce sur une surface, nous parlerons de la notion de pression.

La formule qui permet de définir la pression hydraulique :

$$Pression(bar) = \frac{Force (daN)}{Section (cm^2)}$$

$$1bar = 1daN/cm^2$$

b)- Le Débit :

Le volume du fluide déplacé par unité de temps est appelé le débit.

En hydraulique le débit caractérise la rapidité de mouvement [3].

C'est le volume de fluide qui s'écoule pendant l'unité de temps.

$$Débit = \frac{Volume déplacé}{Temps} \quad , \quad \text{on note :} \quad Q_v = \frac{V}{t}$$

En unité usuelle :

Le débit s'exprime en litre par min (L/mn)

Le volume s'exprime en Litre

Le temps s'exprime en mn

c)- La puissance :

En mécanique la puissance s'exprime : $P = F \cdot V$

Par analogie la Puissance hydraulique s'écrit :

$$P(kw) = \frac{Q_v(l/mn) \cdot p(bar)}{600}$$

