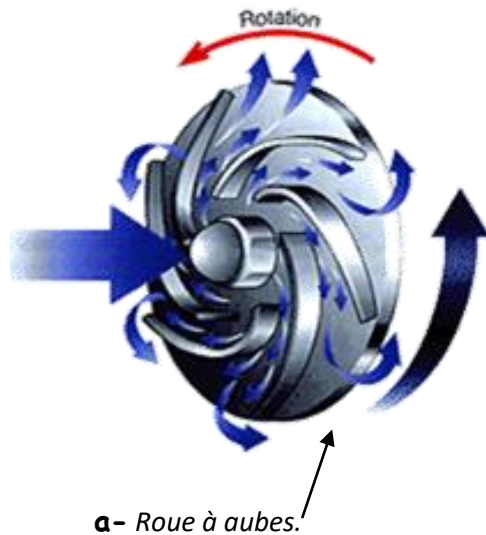


## 2- GENERALITES SUR LES TURBOPOMPES ET LEUR TECHNOLOGIE

### 2-1- Turbopompes

#### Fonctionnement d'une turbopompe (figure 1)



Pour assurer la fonction hydraulique, une pompe centrifuge est constituée de :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe ;
- Une tubulure d'aspiration dans l'axe de la roue ;
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge, générée par la rotation de la roue à aubes, le projette vers l'extérieur de la roue. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante.

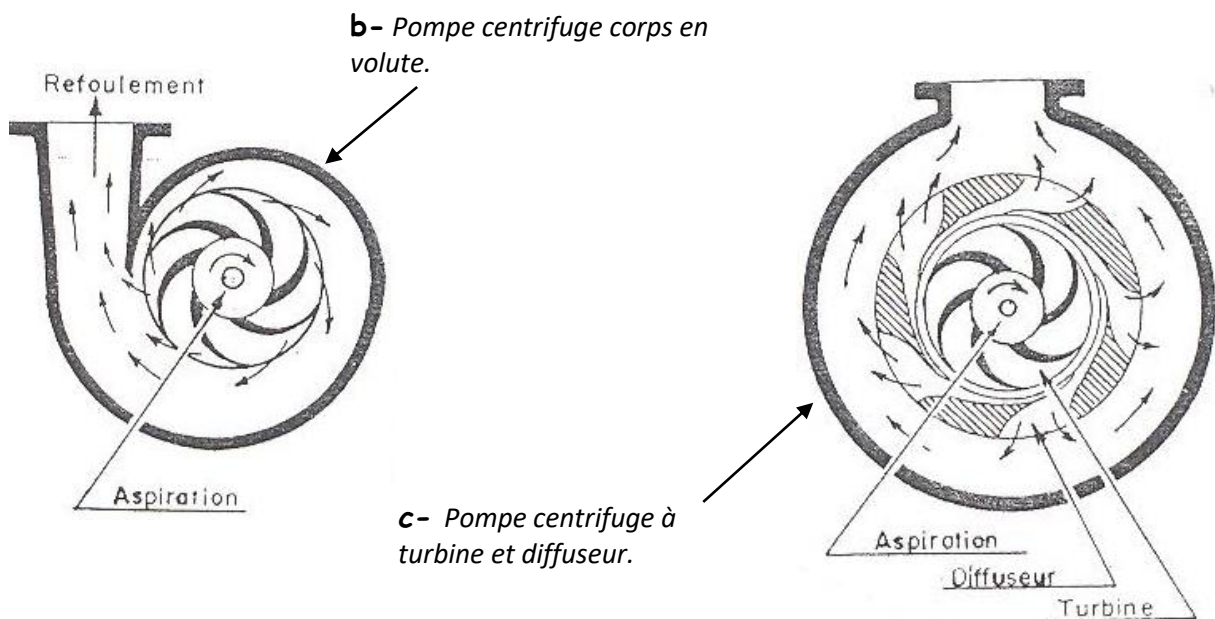
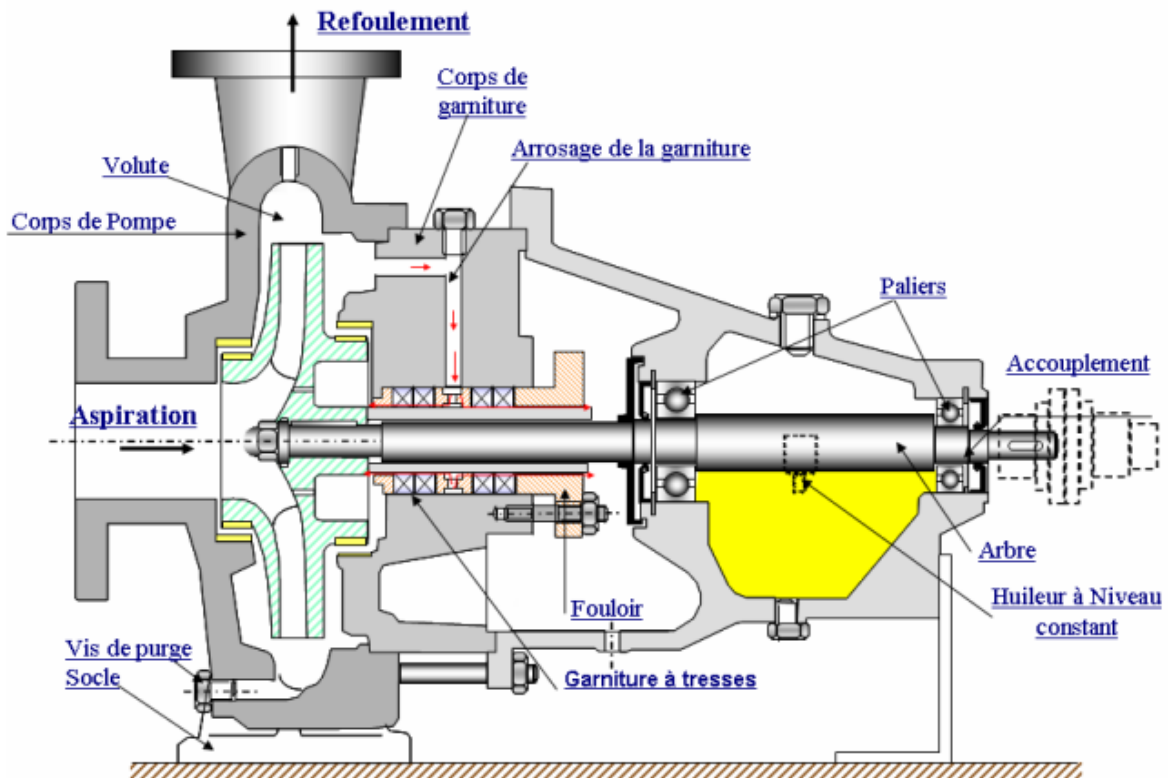


Figure 1 : Fonctionnement d'une pompe centrifuge monocellulaire.

Le type de turbopompe qui nous servira de base d'étude est la **pompe centrifuge** (figure 2).



**Figure 2 : Pompe centrifuge monocellulaire.**

L'examen de la coupe d'une pompe monocellulaire (**figure 2**), permet de situer les différentes pièces constitutives selon leur fonction.

On peut ainsi distinguer :

- Celles intervenant dans le pompage du fluide : Fonction Hydraulique ;
- Celles contribuant au maintien des parties tournantes : Fonction Guidage en rotation et déplacement axial du rotor.
- Fonction Lubrification ;
- Les dispositifs limitant les fuites : Fonction Étanchéité ;
- Le refroidissement de certaines pièces : Fonction Refroidissement ;
- Et enfin dans l'entretien : Fonction Montage.

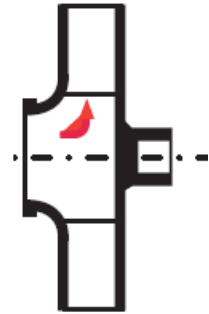
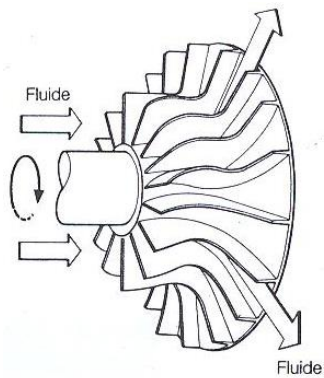
## **2-2- Classification des turbopompes (**figure 3**)**

Indépendamment du fait que les turbopompes peuvent être monocellulaires ou multicellulaires, en tenant compte du trajet suivi par le fluide par rapport à l'axe de rotation, on distingue :

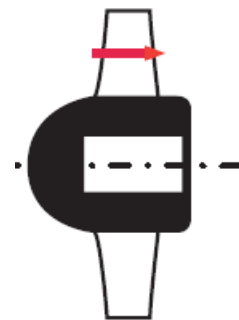
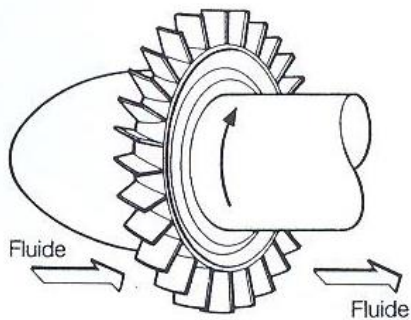
- des turbopompes radiales centrifuges ou centripètes pour lesquelles les trajectoires des particules fluides sont contenues dans des plans perpendiculaires à l'axe de rotation, sauf au voisinage immédiat de ce dernier (**figure 3a**) ;
- des pompes axiales dans lesquelles les particules fluides restent sensiblement à distance constante de l'axe de rotation (**figure 3b**) ;
- et des pompes hélico centrifuges ou hélico centripètes intermédiaires entre les deux cas précédents (**figure 3c**).

♦ Les pompes monocellulaires centrifuges conviennent bien pour des débits modérés et des pressions de refoulement moyennes (**figure 2**).

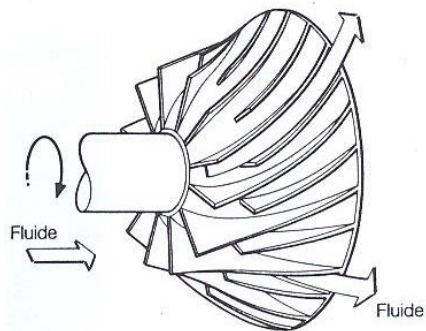
Lorsque le débit croît, on passe progressivement aux pompes hélico centrifuges puis, pour les débits les plus élevés aux pompes axiales.



a- roue radiale centrifuge.



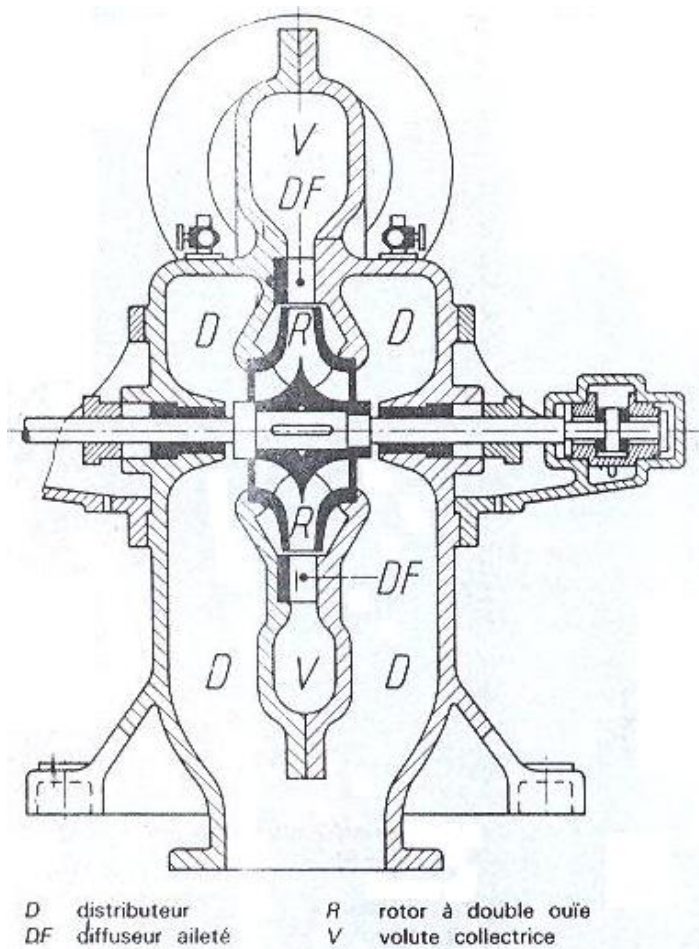
b- roue axiale.



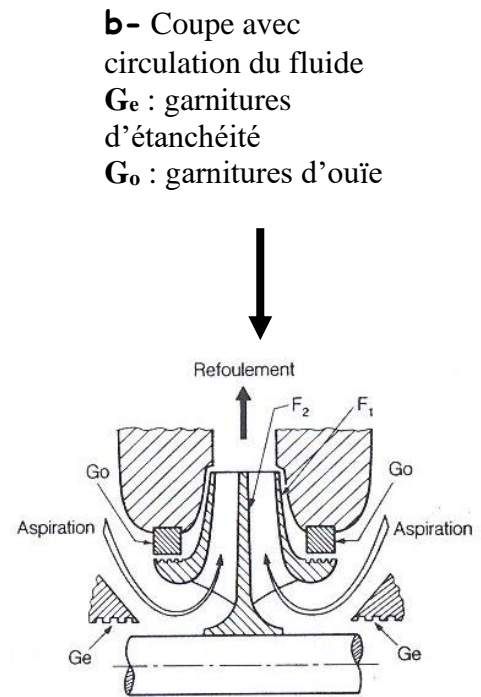
c- roue hélico centrifuge ou semi-axiale.

**Figure 3** : Classification des pompes.

**Remarquons** qu'il existe aussi des pompes monocellulaires centrifuges, ou hélico centrifuges dans lesquelles l'arrivée du liquide s'effectue des deux côtés de la roue. Ces pompes sont dites à double ouïe (**figure 4a et b**).



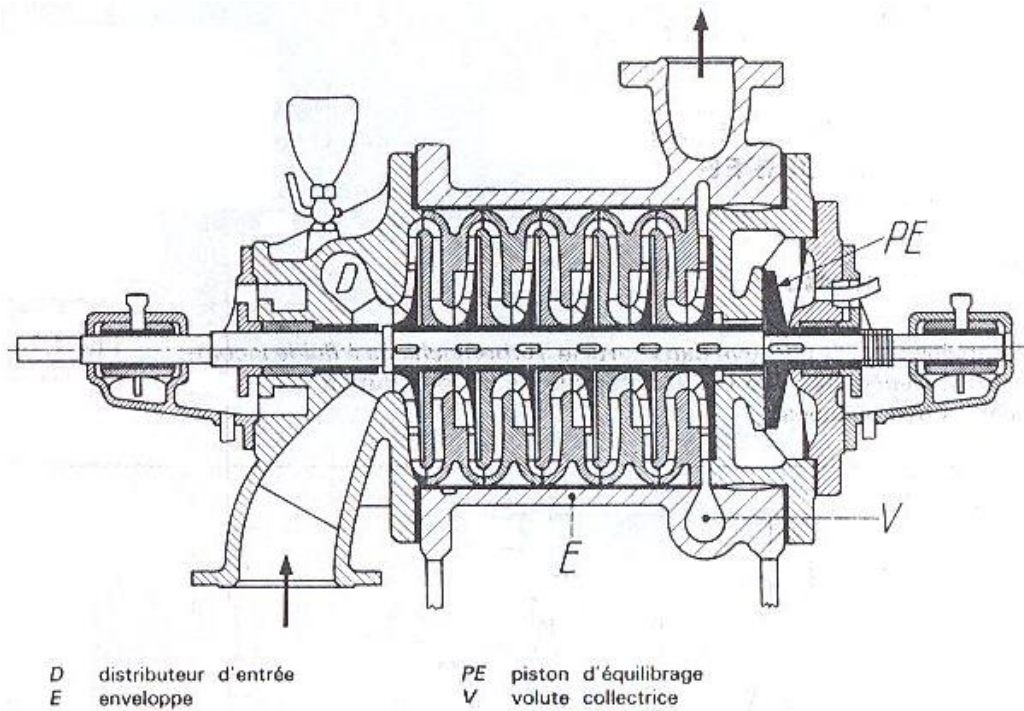
**a-** Coupe axiale d'une pompe radiale centrifuge à double ouïe.



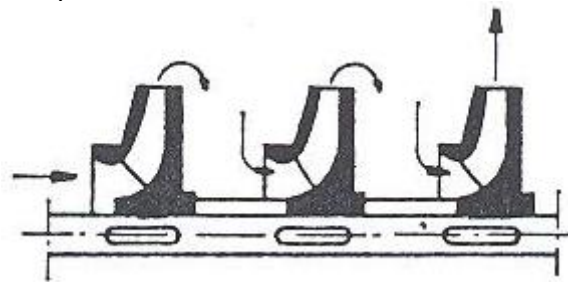
**Figure 4** : Pompe centrifuge à double ouïe.

♦ Les pompes multicellulaires (**figure 5a et b**) sont conçues pour délivrer des pressions de refoulement élevées. A cet effet, elles sont constituées par la mise en série, dans une enveloppe unique, de plusieurs étages monocellulaires. Selon la grandeur du débit, les rotors utilisés sont centrifuges ou hélico centrifuges.





a- Pompe multicellulaire à bloc interne amovible.



b- Schéma de fonctionnement d'une pompe multicellulaire.

Figure 5 : pompe multicellulaire.

### 2-3- Constitution d'une turbopompe

Une turbomachine monocellulaire complète se compose de trois organes distincts que le fluide traverse successivement, soit depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la machine (**figure 6**).

#### 2-3-1- Le distributeur

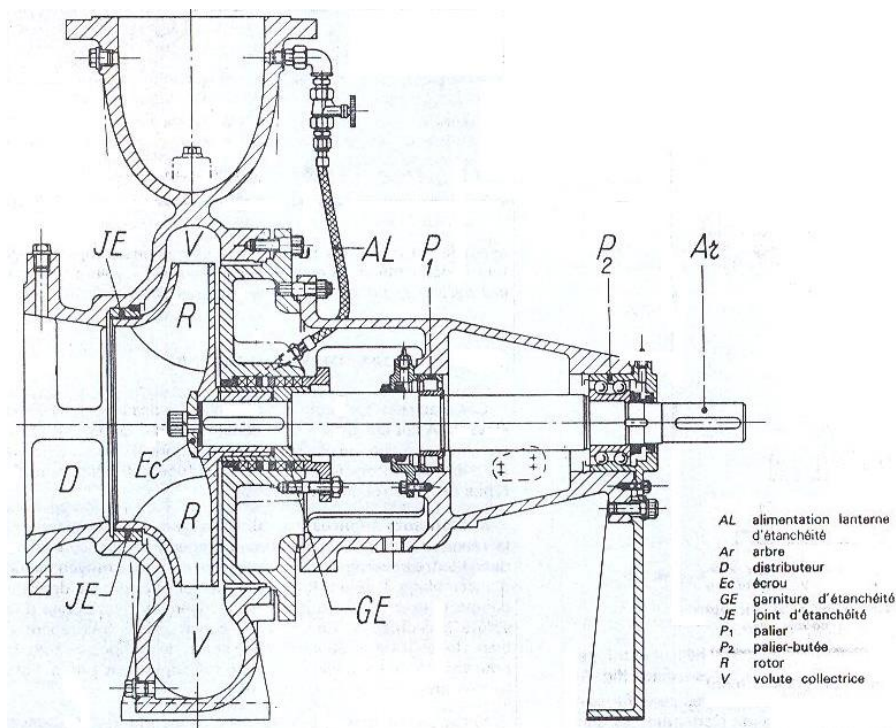
Il est le premier organe que le fluide rencontre sur sa trajectoire. Son rôle est de conduire le fluide depuis la section d'entrée de la machine « point 0 » jusqu'à l'entrée du rotor « point 1 », en lui assurant une vitesse et une direction convenables.

#### 2-3-2- Le rotor (Roue)

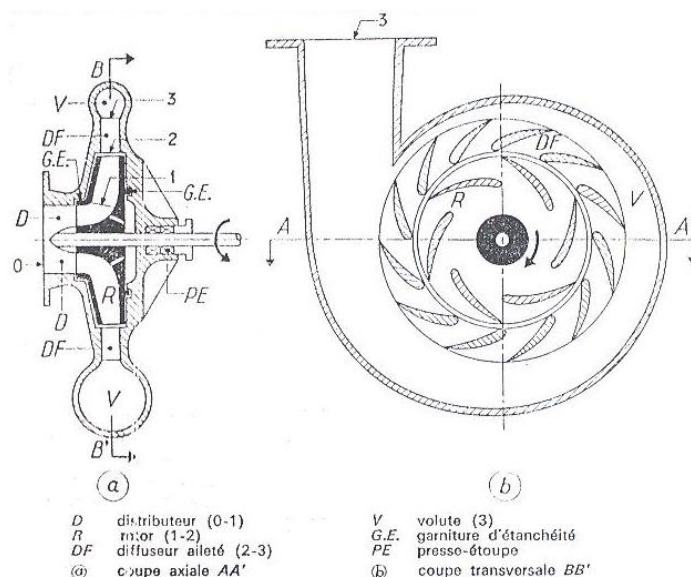
Dans une turbomachine, la roue est l'élément le plus important dans lequel s'effectue l'échange des énergies ; dans une machine réceptrice, l'énergie fournie par le moteur d'entraînement y est communiquée au fluide tandis qu'inversement, dans une machine motrice, le rotor reçoit sous forme de travail mécanique l'énergie libérée par le fluide.

### 2-3-3- Le diffuseur et la volute

Le diffuseur ou l'amortisseur a le rôle de collecter le fluide à la sortie du rotor et de l'amener dans la section de sortie de la machine à la vitesse désirée. C'est aussi l'organe qui est destiné à transformer l'énergie cinétique en pression. Le diffuseur est constitué par un canal annulaire entourant le rotor et débouchant dans un collecteur de section croissante, la **volute**, qui amène le fluide dans la section de sortie de la machine.



**a-** turbopompe monocellulaire centrifuge.



**b- coupe d'une pompe centrifuge monocellulaire.**

**Figure 6 : constitution d'une pompe centrifuge monocellulaire.**

### 2-3-4- Les systèmes d'étanchéité

De façon générale, l'étanchéité a pour but d'empêcher :

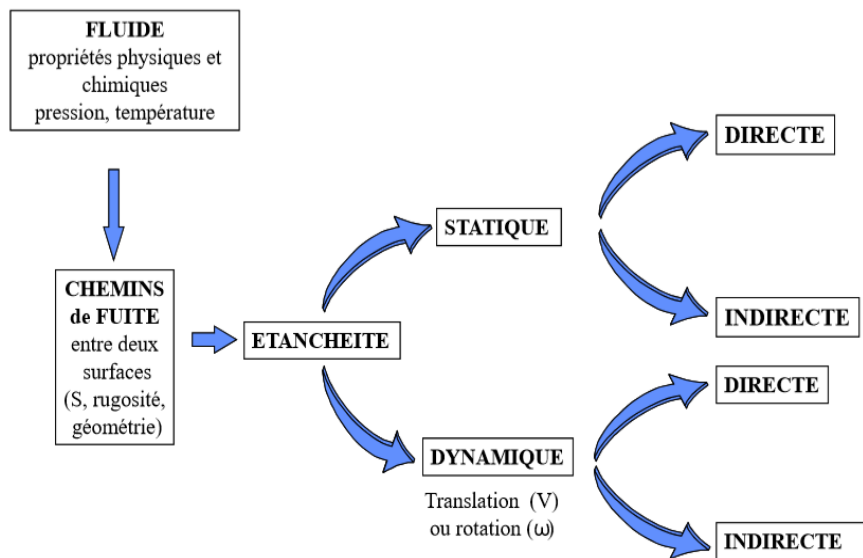
- Les fuites ;
- L'introduction des particules (ou fluide) étrangères.

Les principales sources de fuites sont :

- Les défauts de formes ;
- Les états des surfaces à étancher ou rugosités ;
- Les dilatations ;
- La porosité des matériaux et leur non-compatibilité avec le milieu environnant (lubrifiant, atmosphère...).

On distingue deux types d'étanchéité directe ou indirecte :

- L'étanchéité statique où il n'y a pas de mouvement relatif entre les surfaces (surfaces immobiles ou fixes) assurée par des joints statiques ;
- L'étanchéité dynamique où il y a un mouvement relatif entre les surfaces (surfaces mobiles) assurée par des joints dynamiques.



Dans une pompe centrifuge, plusieurs niveaux d'étanchéité sont nécessaires :

- Étanchéités statiques (carter, les brides...) assurées par des joints fixes adaptés au produit (**figure 7**) ;

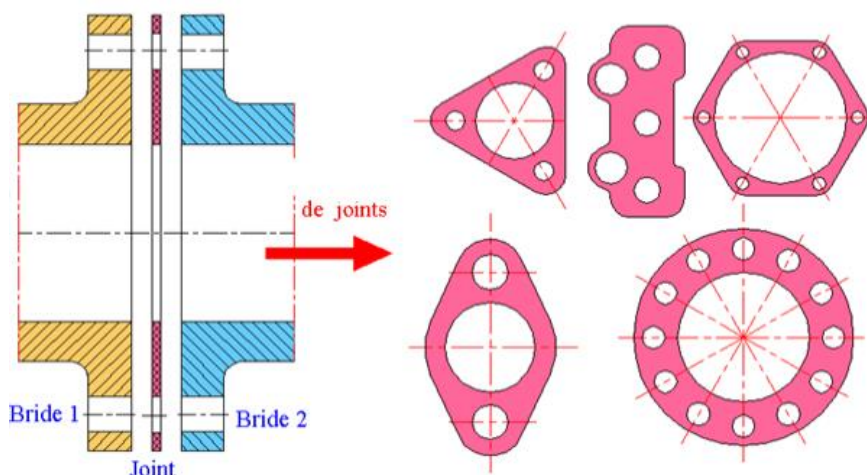


Figure 7 : Joints statiques.

- Étanchéités dynamiques internes (entre volute, diffuseur et entrée de roue, pour éviter une recirculation de fluide trop importante), en général assurées par des bagues ou disques en rotation, le fluide pompé assurant un film liquide suffisant pour la lubrification et le refroidissement des parties en contact ;

- Étanchéités dynamiques externes (arbre d'entraînement de la roue en rotation), assurées par tresses ou garnitures mécaniques.

L'étanchéité la plus délicate est sans aucun doute celle de l'arbre en rotation entrainant la roue de la pompe. En cas de fuite, le produit peut aller vers l'extérieur, ce qui est parfois incompatible avec les conditions d'hygiène et/ou de sécurité. Plusieurs systèmes existent permettant d'assurer une étanchéité plus ou moins totale au niveau de l'arbre en rotation.

Les deux systèmes principalement utilisés pour assurer l'étanchéité du passage de l'arbre entre l'intérieur de la pompe et l'extérieur, généralement soumis à la pression atmosphérique sont :

- Les garnitures à tresses ;
- Les garnitures mécaniques.

#### a- Garniture à tresses ou presse-étoupe (figure 8)

Les tresses constituent un système d'étanchéité économique, mais requérant une certaine attention au niveau de l'exploitation. Du fait qu'elles sont en contact direct avec l'arbre, il est nécessaire de créer une fuite pour les lubrifier et les refroidir. Il y a donc un compromis à trouver entre un fonctionnement privilégiant la lubrification, et un fonctionnement limitant les fuites au détriment de la tenue de la tresse. Si le fluide pompé est incompatible avec la fonction de lubrification, il doit être prévu un fluide auxiliaire (cas des eaux chargées ou abrasives). Ce type d'étanchéité n'est pas adapté aux vitesses de rotation élevées.

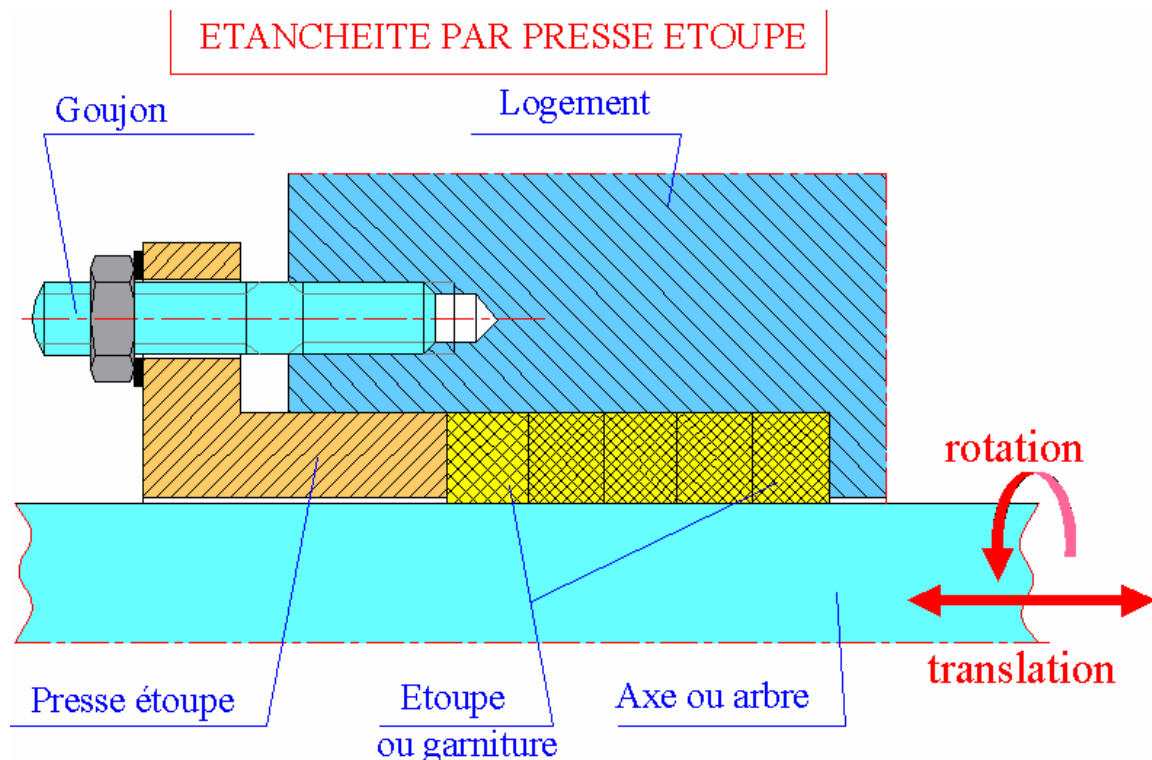


Figure 8 : Presse étoupe.



### b- Garniture mécanique (figure 9)

Une garniture mécanique assure une étanchéité sans fuite et ne requiert aucun réglage. Néanmoins si une légère fuite se produisait au démarrage, elle doit disparaître après un temps de rodage des faces de frottement.

L'étanchéité, avec une garniture mécanique, est assurée, d'une part par un joint torique (joint de grain sur la partie fixe) et une membrane sur la partie tournante, d'autre part par le contact des faces de frottement planes et glacées (carbone/céramique). Elles sont plus onéreuses que les garnitures à tresses.

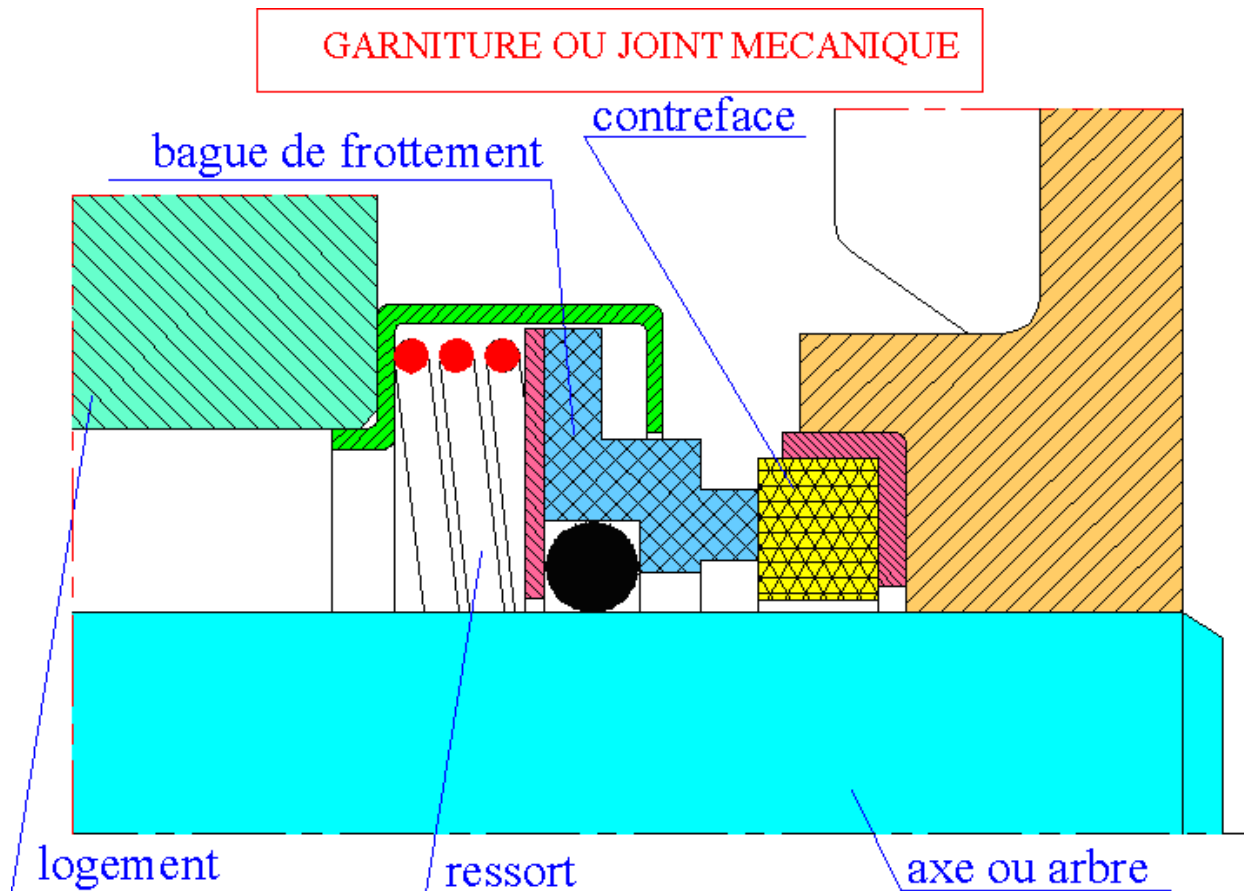
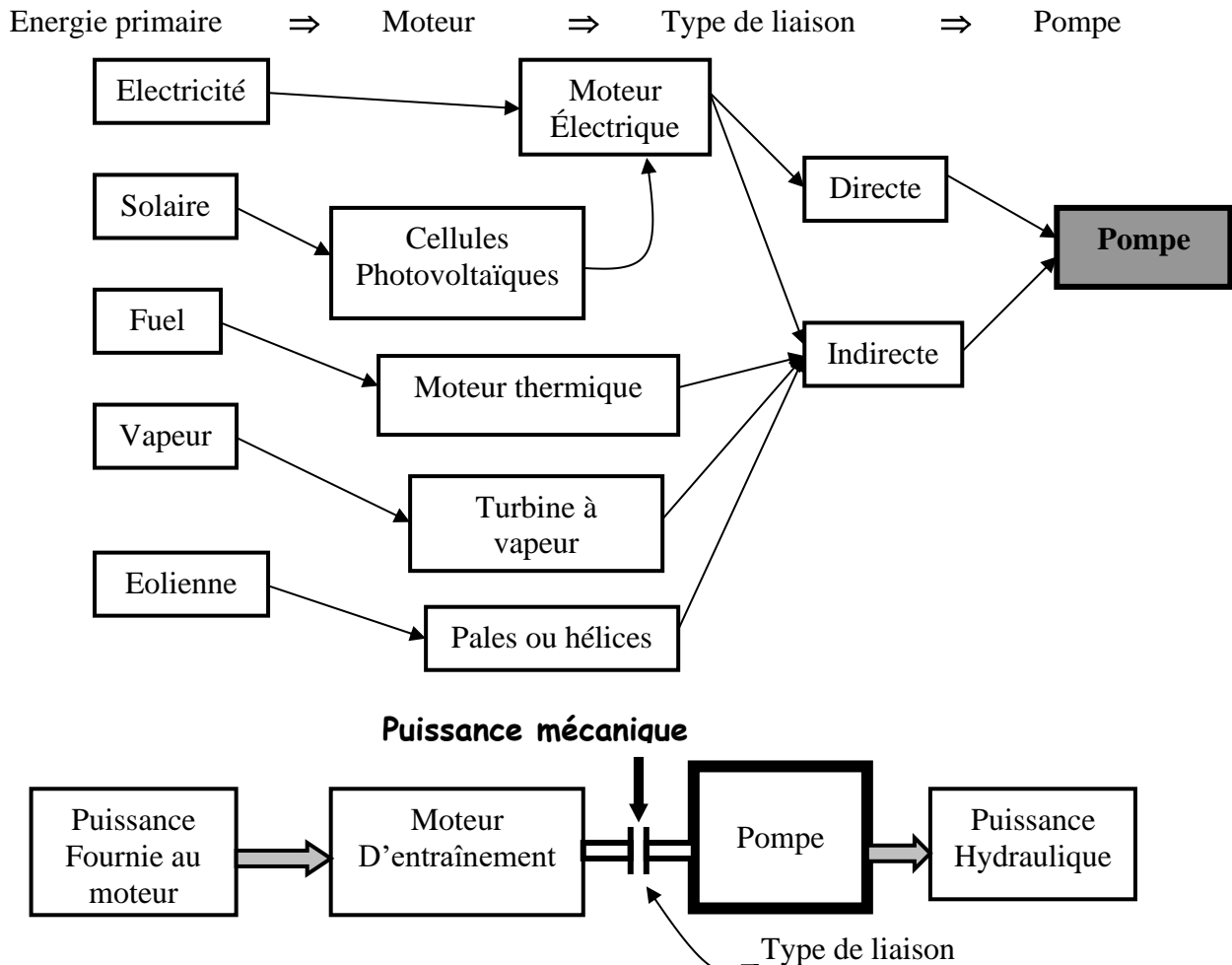


Figure 9 : Garniture mécanique.

## 2-4- Modes d'entraînement

Rappelons la transformation d'énergie et le mode de transmission de puissance afin de définir les différents systèmes d'entraînement.



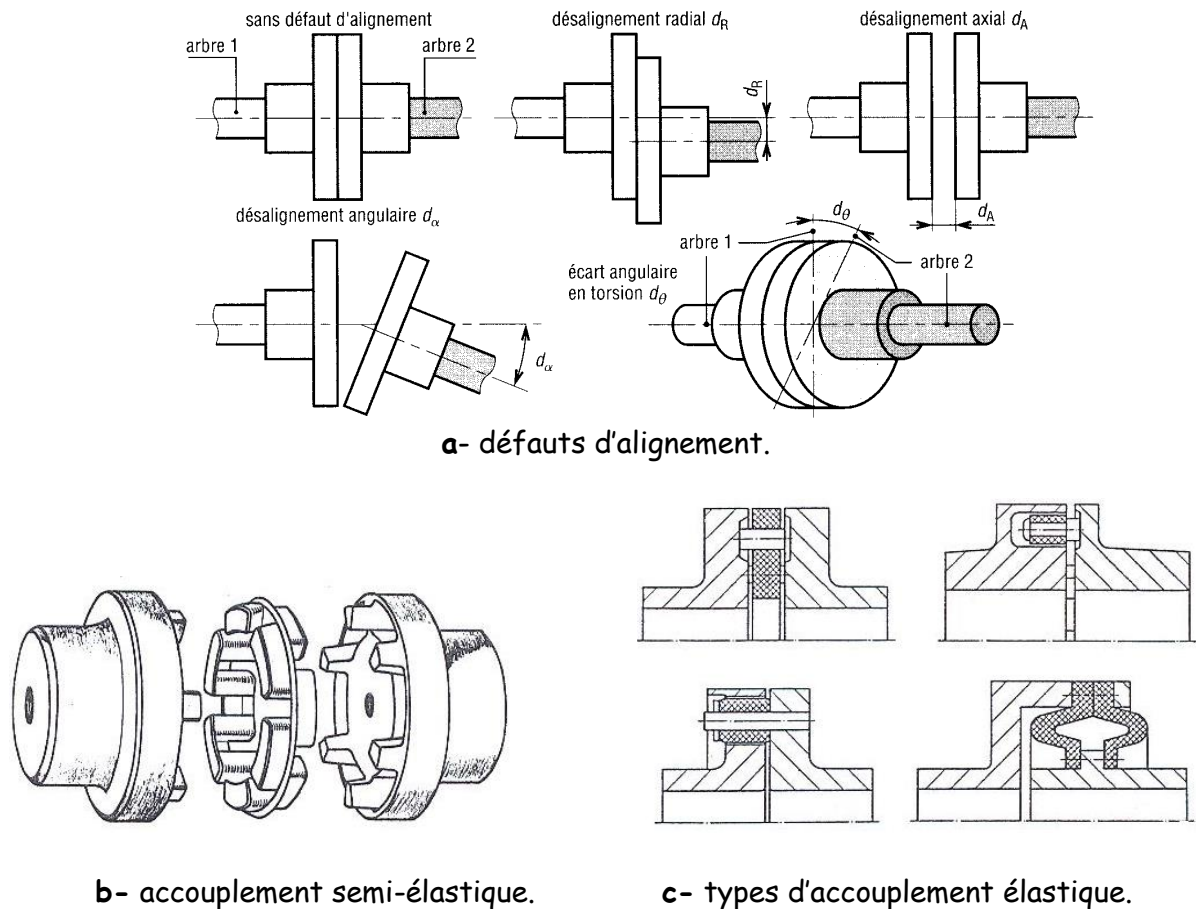
Quel que soit le genre du moteur d'entraînement utilisé, la liaison moteur-pompe peut être du type :

- Direct en montant le rotor sur l'arbre du moteur ;
- Indirect en utilisant des accouplements (**figure 10**) ; une transmission poulie-courroie (**figure 11c**) ou par l'intermédiaire d'une boîte d'engrenages multiplicateurs de vitesse (entraînement par éolienne).

Les accouplements d'arbre utilisés avec les pompes centrifuges peuvent être divisés en accouplements rigides et accouplements souples (élastiques ou semi élastiques). Les accouplements rigides sont surtout utilisés pour obtenir un alignement parfait des arbres. De très faibles décalages suffisent à charger considérablement l'accouplement et les bouts d'arbres.

L'accouplement souple est un élément de jonction élastique sans glissement entre le moteur d'entraînement et la pompe, qui compense les défauts d'alignement axiaux, radiaux et angulaires (**figure 10a**) et absorbe les chocs. La souplesse est souvent obtenue par la déformation d'éléments amortissants et élastiques en caoutchouc, dont la durée de vie dépend fortement de l'importance des défauts d'alignement à compenser.

Les **figures 10b** et **c** montrent les types de construction des accouplements souples le plus souvent utilisés.



**Figure 10 : Les accouplements.**

La transmission poulie-courroie (**figure 11c**) reste la solution privilégiée de certaines industries qui se doivent d'adapter les caractéristiques (débit par exemple) de leurs systèmes de pompage à des contraintes extérieures. En changeant les poulies motrices et réceptrices, il est possible de faire varier la vitesse de rotation donc, par voie de conséquence, débit et pression obtenus.

Mais techniquement parlant, ce montage a quelquefois l'inconvénient d'exercer sur l'arbre un effort qui risquerait de le déformer, le mieux est de vérifier techniquement si la pompe est capable de supporter sans dommages ce genre de contrainte.

#### **2-4-1- Entraînement par moteur électrique (groupe électropompe)**

Dans le cas qui nous intéresse c'est-à-dire l'entraînement d'une pompe centrifuge, le principal avantage d'un moteur électrique réside dans le fait que sa vitesse de rotation est pratiquement constante et assez élevée.

Ce système généralement composé d'une pompe, d'un accouplement semi-élastique, d'un moteur électrique, le tout monté sur un socle métallique en fonte ou en acier est appelé groupe **électropompe** (**figures 11a, b et c**). C'est le montage le plus répandu.

Il faut noter que dans un tel montage l'axe du moteur et celui de la pompe doivent être confondus.

**Remarque :** Tout moteur électrique se doit d'être équipé d'un dispositif de commande et de protection.

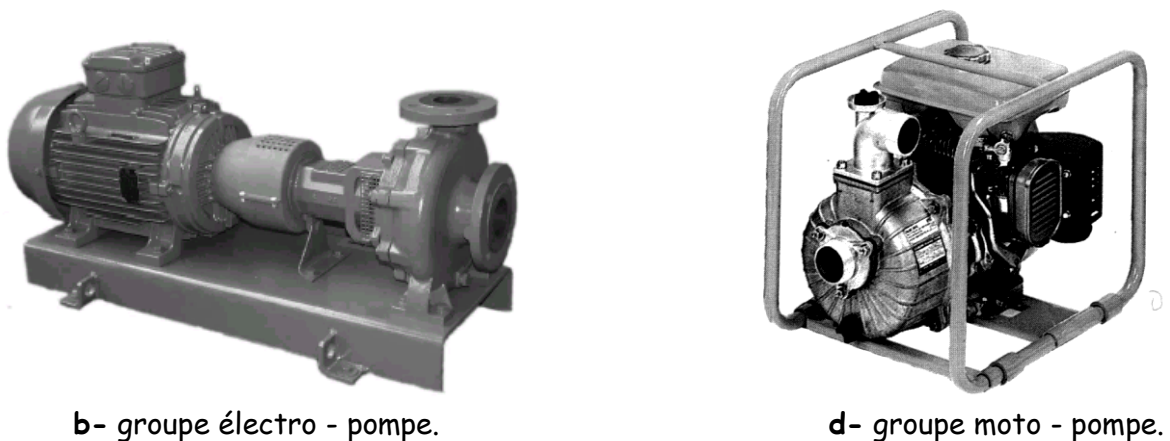
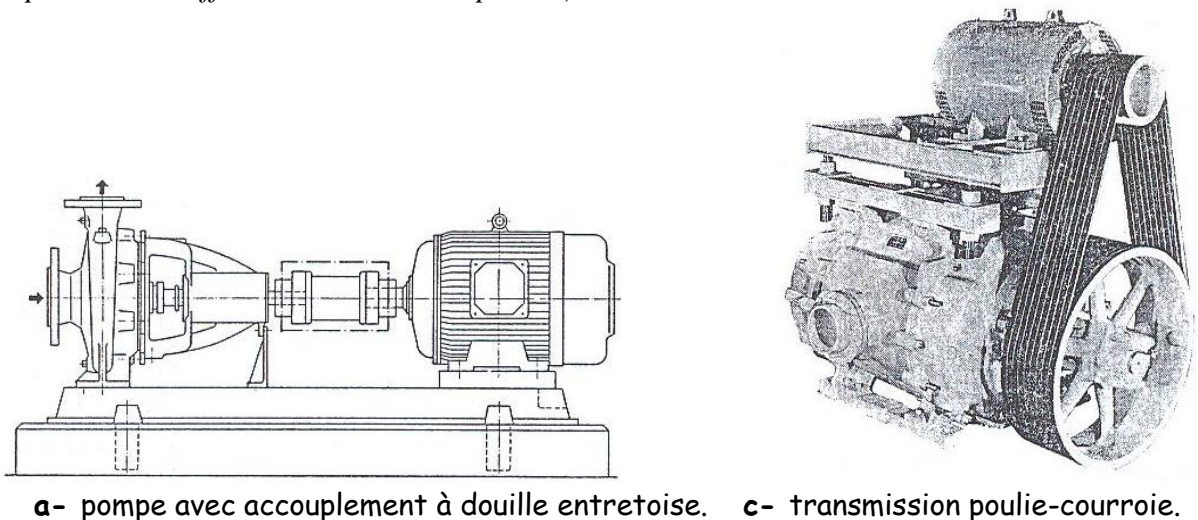
Rappelons que l'appellation **station de pompage** comprend en général, non seulement le groupe électropompe proprement dit, mais également l'ensemble des accessoires nécessaires à l'installation et au fonctionnement de l'ensemble : massifs en béton pour supporter le groupe électropompe, supports divers pour les tuyauteries, appareillages électriques (pour le démarrage, l'arrêt et la protection du moteur, etc.), appareils de mesure de pression, de comptage de débit ou de l'électricité consommée, accessoires de robinetterie (vannes, clapets, etc.).

#### 2-4-2- Entraînement par moteur thermique (groupe moto - pompe)

La seule différence entre le **groupe motopompe** (**figure 11d**) et l'ensemble précédent (groupe électropompe), réside dans le fait que le moteur électrique est remplacé ici par un moteur thermique ou par un moteur spécial à air comprimé ou hydraulique.

Le groupe motopompe est choisi, en général, lorsqu'on ne dispose pas de courant électrique ou bien si l'on souhaite avoir un système mobile. Ce système peut servir de secours en cas de coupure de courant pour l'alimentation en eau, etc.

**NOTA :** *s'assurer avant d'acheter une pompe, que son sens de rotation est bien compatible avec celui du moteur thermique destiné à l'entraîner (contrairement au moteur électrique triphasé où il suffit d'inverser deux phases).*



**Figure 11 :** Mode d'entraînement des pompes.



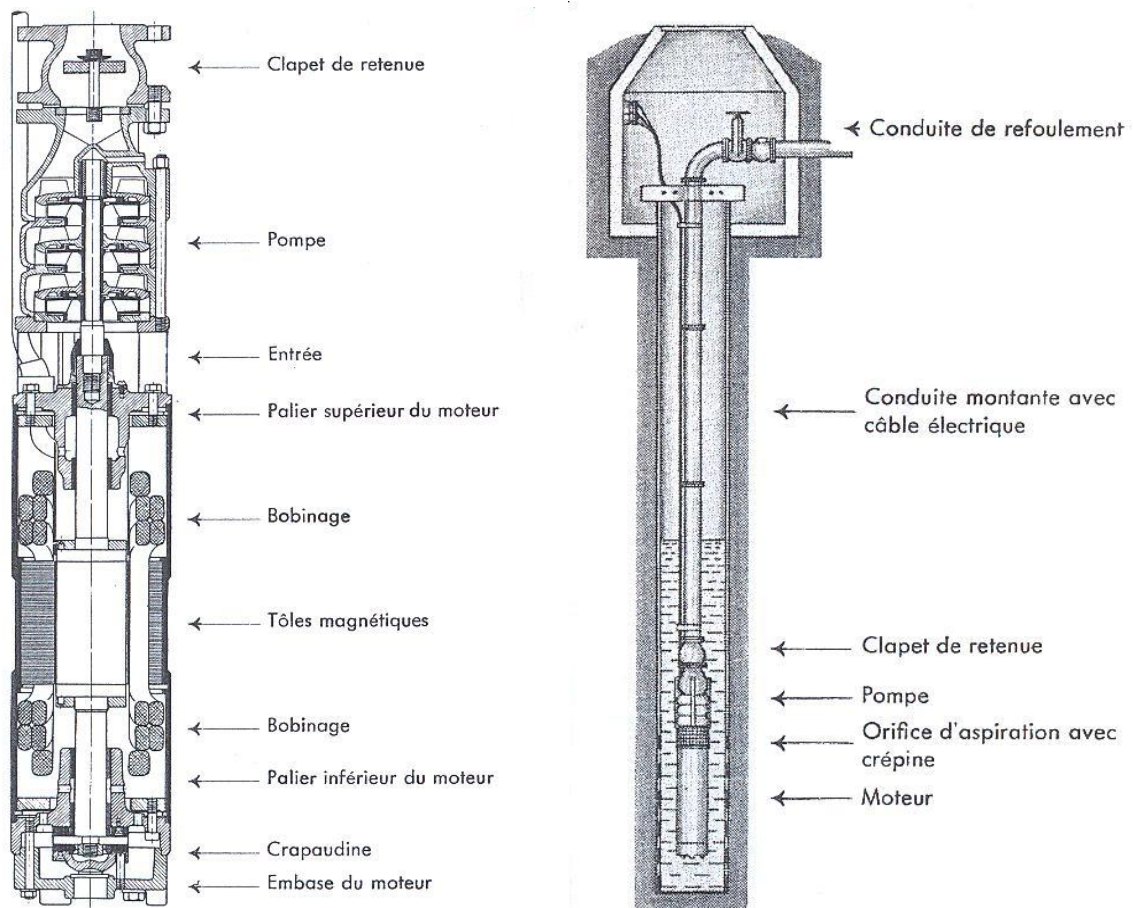
### 2-4-3- Autres types d'entraînement (par turbine, éolienne)

L'entraînement par turbine est, par sa complexité, réservé aux installations industrielles et seuls des spécialistes confirmés sont en mesure d'étudier et de réaliser de tels montages. Il nous suffit quant à nous, de savoir que ces montages existent.

Quant à l'entraînement d'une pompe centrifuge par une éolienne classique ; il ne peut directement s'effectuer, car, la vitesse disponible est insuffisante, il faut donc y adjoindre un ou deux systèmes d'engrenages multiplicateurs de vitesse.

### 2-5- Réalisations industrielles

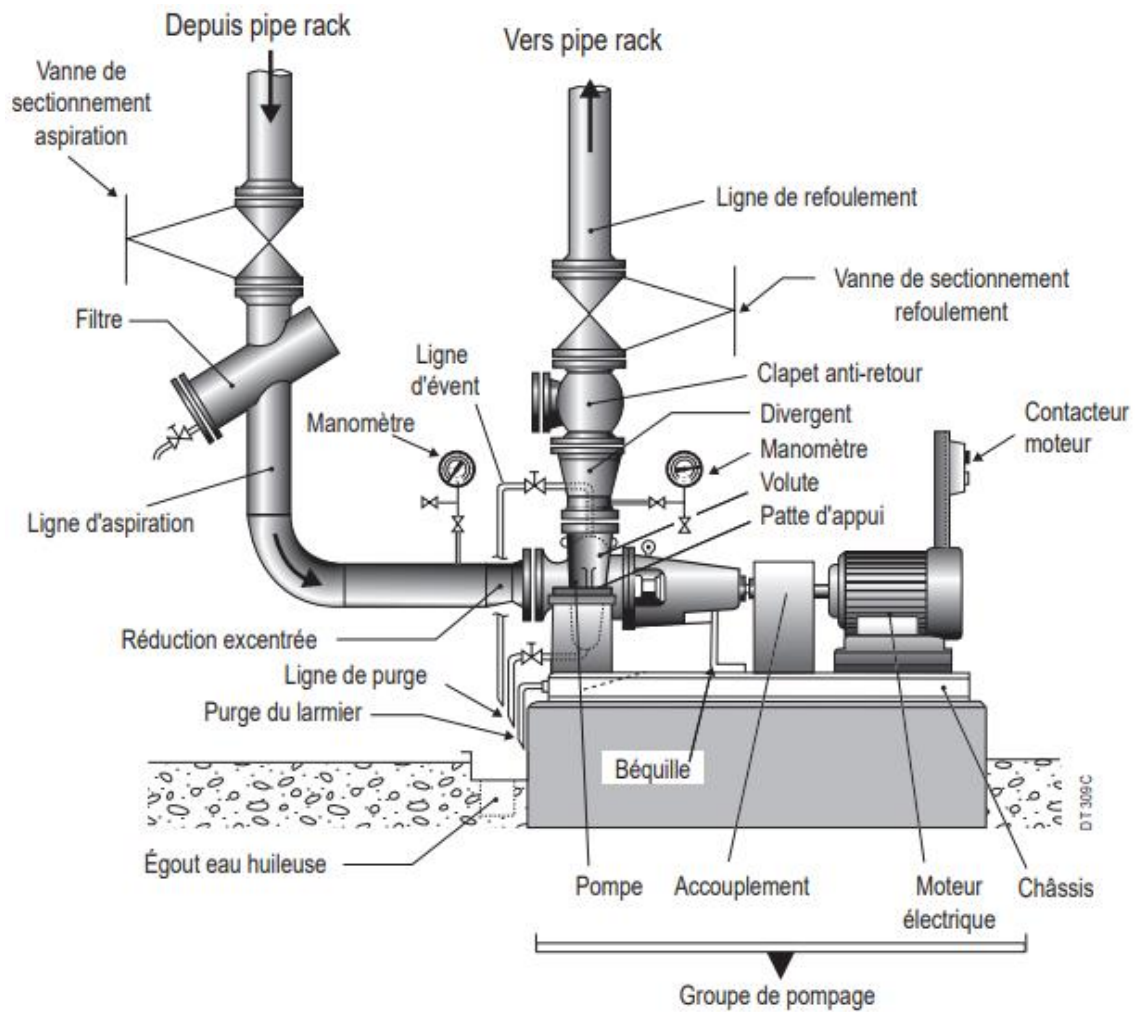
Pour les puits profonds ou les forages, on utilise des groupes immergés (**figures 12a et b**). D'autres applications industrielles sont données à la **figure 13**.



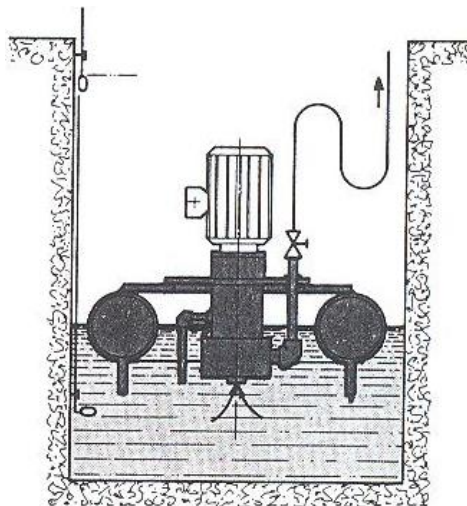
a- coupe d'un groupe immergé.

b- groupe immergé dans un puits.

**Figure 12 : Pompes centrifuges immergées.**



a- Pompe centrifuge et accessoires.



b- Montage sur flotteur pour des variations importantes (plusieurs mètres) des niveaux ; débits 1 à 250 m<sup>3</sup>/h.

Figure 13 : Réalisations industrielles.