

## MODULE 1

## 1

## ANALYSE FONCTIONNELLE



*La voiture est un système pluritechnique qui met en évidence les solutions techniques actuelles. Elle peut être champ d'application de l'analyse fonctionnelle.*

## BESOIN

## Introduction

Dans la vie quotidienne, on utilise des produits divers. Chacun de ces produits satisfait à un de nos besoins. Par exemple, on utilise :



L'ordinateur pour satisfaire le besoin de traiter et stocker les données.



Le store pour satisfaire le besoin de se protéger, des rayons solaires intenses dans une pièce, terrasse...

## Besoin

Le besoin est la nécessité ou le désir éprouvé par un utilisateur.

Exemple de nécessités : nourriture, logement, habit.

Exemple de désirs : bijoux, objet de décoration.

Du point de vue entreprise, un besoin peut être :

- Explicite : exprimé par un cahier des charges ;
- Implicite : n'est pas exprimé par un cahier des charges mais imposé par des lois et des normes ;
- Latent : besoin qui n'est pas encore apparent mais peut se déclarer à tout moment.

## Exemples

- Boire une tasse de café  
Propreté de la tasse, bon service  
→ ... *besoin*... *explicite*
- Acheter une voiture avec des options modernes  
Émission réduite de CO2  
→ ... *besoin*... *implicite*
- Location d'une voiture classique  
On propose une voiture de haut de gamme  
→ ... *besoin*... *explicite*
- En achetant un billet d'avion :  
Prix et horaire  
Sécurité  
Repas, cadeau, film  
→ ... *besoin*... *implicite*  
→ ... *besoin*... *latent*

## PRODUIT

### Définition

Un produit est ce qui est fourni à l'utilisateur pour répondre à un besoin.

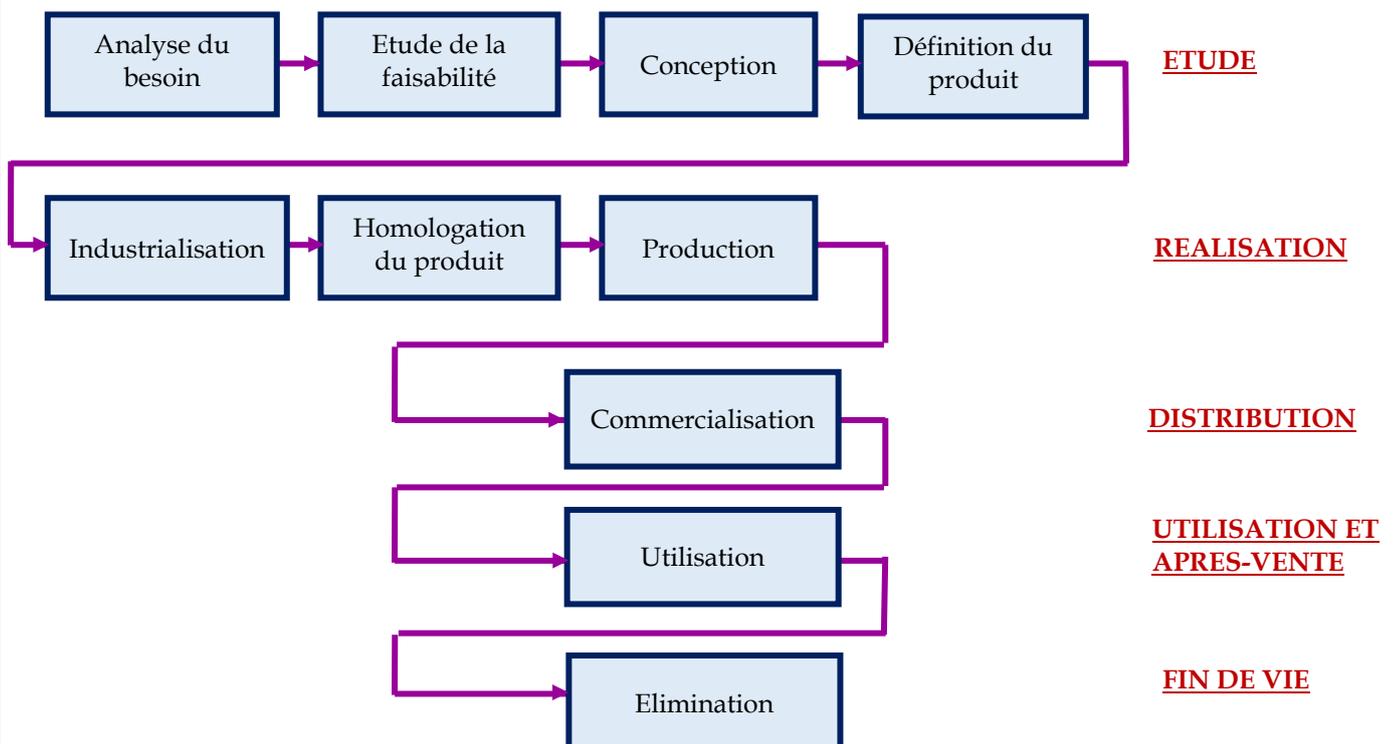
On peut classer les produits en deux grandes catégories :

- Matériel : voiture, PC, tissu, bouteille de gaz...
- Service : hôpital, transport, banque, gardiennage, ...
- Processus : peinture, extraction d'huile à partir d'olive, passeport...

### Cycle de vie d'un produit

Le cycle de vie d'un produit est l'ensemble des étapes par lesquelles il passe depuis le besoin jusqu'à son élimination

- ⇒ L'idée de concevoir un produit provient d'un besoin auquel il doit répondre. Le produit doit donc remplir une fonction précise. C'est le service marketing de l'entreprise qui se charge de cette phase (sondage, questionnaire...);
- ⇒ Le besoin étant précisément défini, le bureau d'études établit le cahier des charges fonctionnel CDCF où il précise les fonctions de service du produit (faisabilité), recherche les solutions technologiques (conception) avant d'en adopter une (définition);
- ⇒ La solution étant retenue, le bureau des méthodes établit le processus de production, les postes de travail... (industrialisation). Le produit réalisé subit des essais (homologation) avant de lancer la production;
- ⇒ La commercialisation et le suivi de l'utilisation par le client sont confiés au service marketing, service commercial et service après-vente;
- ⇒ L'élimination du produit se traduit par le recyclage des éléments récupérables, la destruction des éléments destructibles ou par le stockage des éléments non récupérables et non destructibles.



## PROCESSUS ET SYSTEME

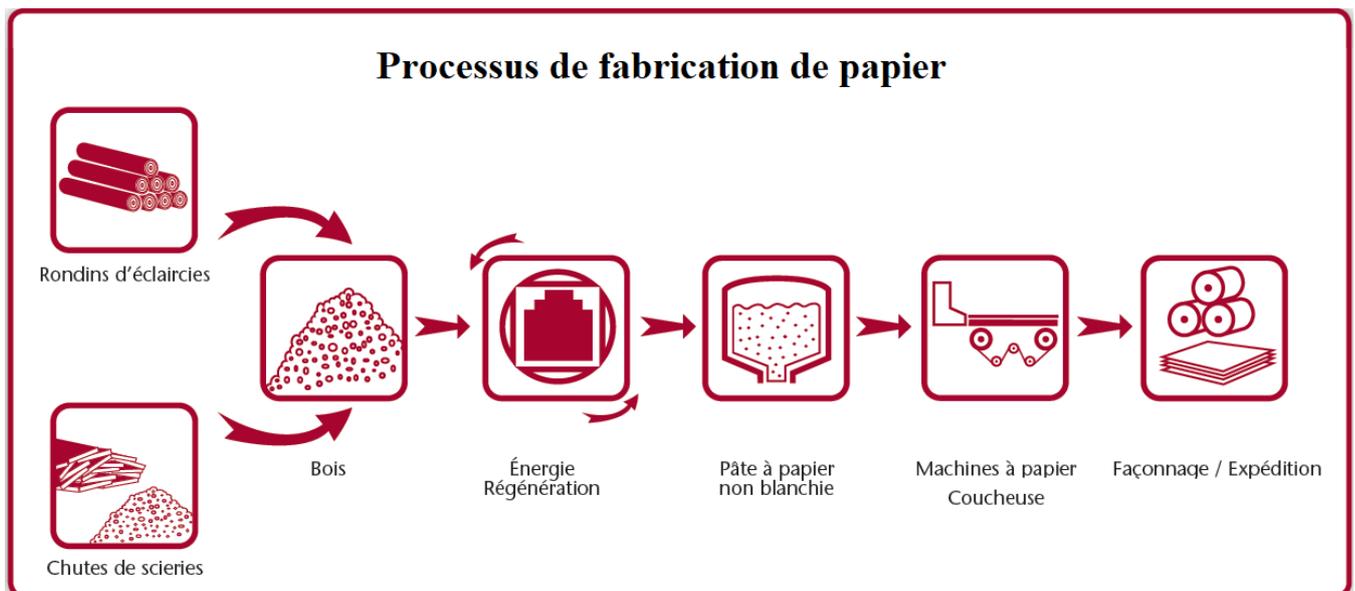
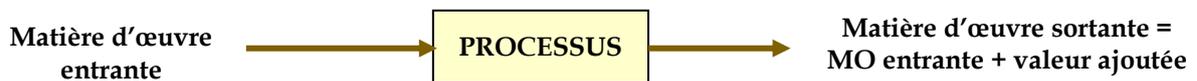
### Processus

Un processus est un ensemble ordonné d'activités qui transforme les éléments d'entrée en éléments de sortie. Un produit passe par un processus industriel qui permet sa fabrication.

La matière d'œuvre est l'élément d'entrée sur lequel le processus agit. La matière d'œuvre peut être :

- La matière exemple : pièce à découper ;
- L'énergie exemple : énergie électrique à convertir en thermique ;
- L'information exemple : données à imprimer.

La valeur ajoutée est ce que apporte le processus à la matière d'œuvre entrante.

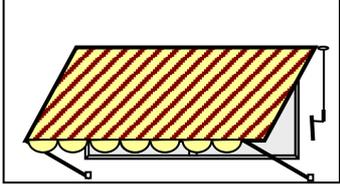
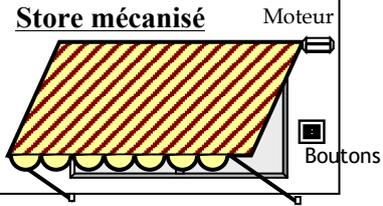
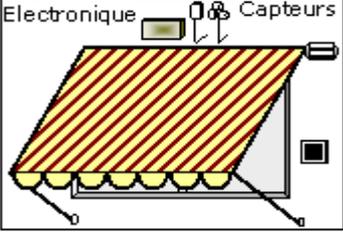


### Système

Un système est un ensemble d'objets techniques visant à réaliser un processus. Un système peut être :

- Non mécanisé : c'est l'utilisateur qui apporte l'énergie de fonctionnement, exemple : porte d'une chambre ;
- Mécanisé : fait appel à une source d'énergie, exemple : porte électrique d'un garage ;
- Automatisé : plus ou moins indépendant de l'intervention humaine, exemple : porte automatique d'un supermarché.

## Exemple

<p><b>Store manuel</b></p> 	<p>L'utilisateur manœuvre le store <b>manuellement</b> pour la montée et la descente de la toile, grâce à une manivelle et son énergie musculaire.</p>
<p>3</p> <p><b>Store mécanisé</b></p>  <p>Moteur Boutons</p>	<p>Le store est <b>motorisé</b> et l'utilisateur le manipule à l'aide de boutons de montée et de descente</p>
<p><b>Store automatisé</b></p>  <p>Electronique Capteurs</p>	<p>Store <b>automatique</b> dont les mouvements de montée et de descente de la toile se font selon la luminosité solaire et la vitesse du vent</p>

## Exercice

Compléter le tableau

Système technique	MO d'entrée	MO de sortie	Nature de la MO	Valeur ajoutée
Cric de voiture	voiture.....	voiture soulevée.....	Matière.....	Soulevement
Usine d'assemblage de voitures	Pièces détachées.....	voiture finie.....	Matière.....	Assemblage
Camion transporteur	charge au point de départ.....	charge à destination.....	Matière.....	Déplacement
Vidéoprojecteur	Contenu à projeter.....	Contenu projeté.....	Information.....	Projection
Téléviseur	signal électrique.....	Image et son.....	Information.....	Décodage
Station de lavage de voitures	voiture sale.....	voiture propre.....	Matière.....	Propreté.....
Calculatrice	Données numériques.....	Résultat des opérations.....	Information.....	Traitement des données.....

## ENTREPRISE INDUSTRIELLE

### Définition

Une entreprise est une unité de production de biens et de services. C'est aussi une unité de répartition des richesses.

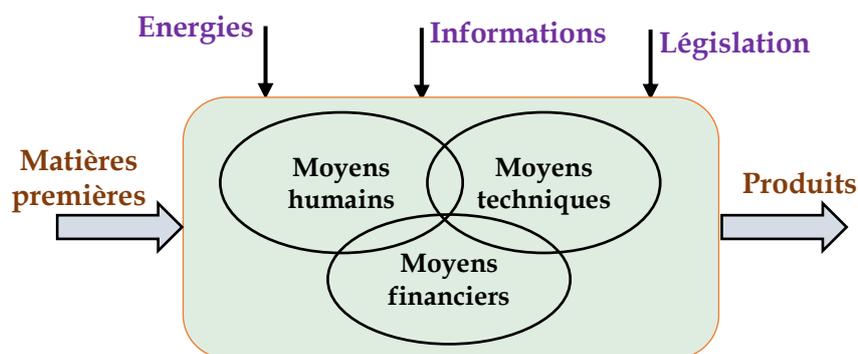
L'objectif de l'entreprise est de produire pour vendre afin d'obtenir des bénéfices.



⇒ L'entreprise en tant qu'une unité de production

Pour fabriquer des biens et des services, l'entreprise doit combiner trois facteurs de production :

<b>Travail</b>	Main d'œuvre du personnel plus ou moins qualifié
<b>Capital technique fixe</b>	C'est l'investissement : terrains, immeubles, machines...
<b>Capital technique circulant</b>	C'est la consommation intermédiaire : essence, bois, fer...



⇒ L'entreprise en tant qu'une unité de répartition des richesses

Les richesses créées (valeur ajoutée) servent à rémunérer l'ensemble des agents économiques ayant participé à l'activité de production.

Agent rémunéré	Nature de la rémunération
Personnel	Salaires
Etat et organismes sociaux	Impôts, cotisations sociales
Prêteurs	Intérêts (banques)
Apporteurs de capitaux	Dividendes (parts des associés)
Entreprise	Revenu non distribué

## Classification des entreprises

### ⇒ Classification juridique

- Entreprise publique : capital à 100% de l'état (exemple : ONCF, RAM, OCP...);
- Entreprise semi-publique : capital partagé entre l'état et particuliers;
- Entreprise privée :
  - ✓ individuelle : café, pharmacie, boucherie...
  - ✓ Sociétaire : société.

### ⇒ Classification économique

- Secteur primaire : regroupe les entreprises qui exploitent la nature (agriculture, pêche, forêt, minéral...);
- Secteur secondaire : regroupe les entreprises industrielles (textile, automobile...);
- Secteur tertiaire : regroupe les entreprises de service (transport, banque, assurance...).

## Exercice

Préciser le secteur économique de chacune des activités suivantes :

Élevage – banque – transport – commerce – pêche – mécanique (industrie et réparation) – textile – assurance – chimie – sylviculture (culture des arbres) – métallurgie

Secteur primaire : *Elevage, pêche, sylviculture.*

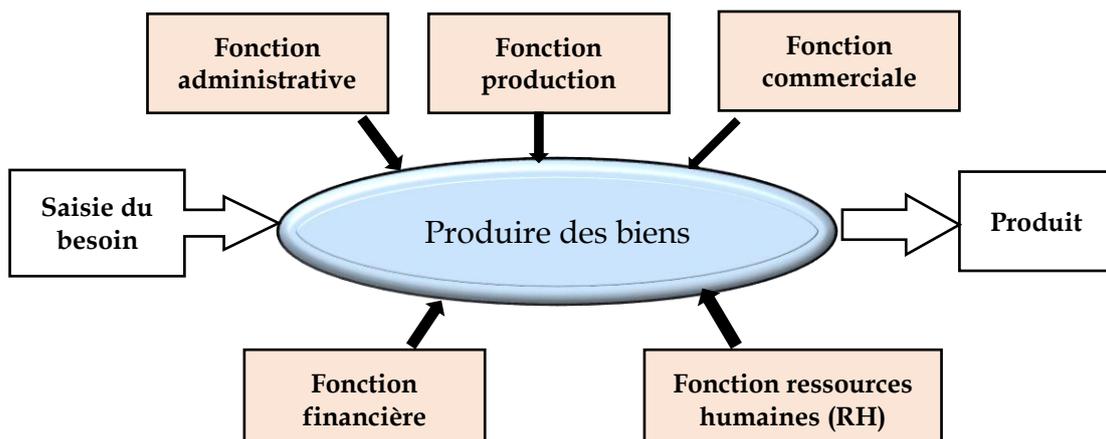
Secteur secondaire : *Mécanique, textile, chimie, métallurgie.*

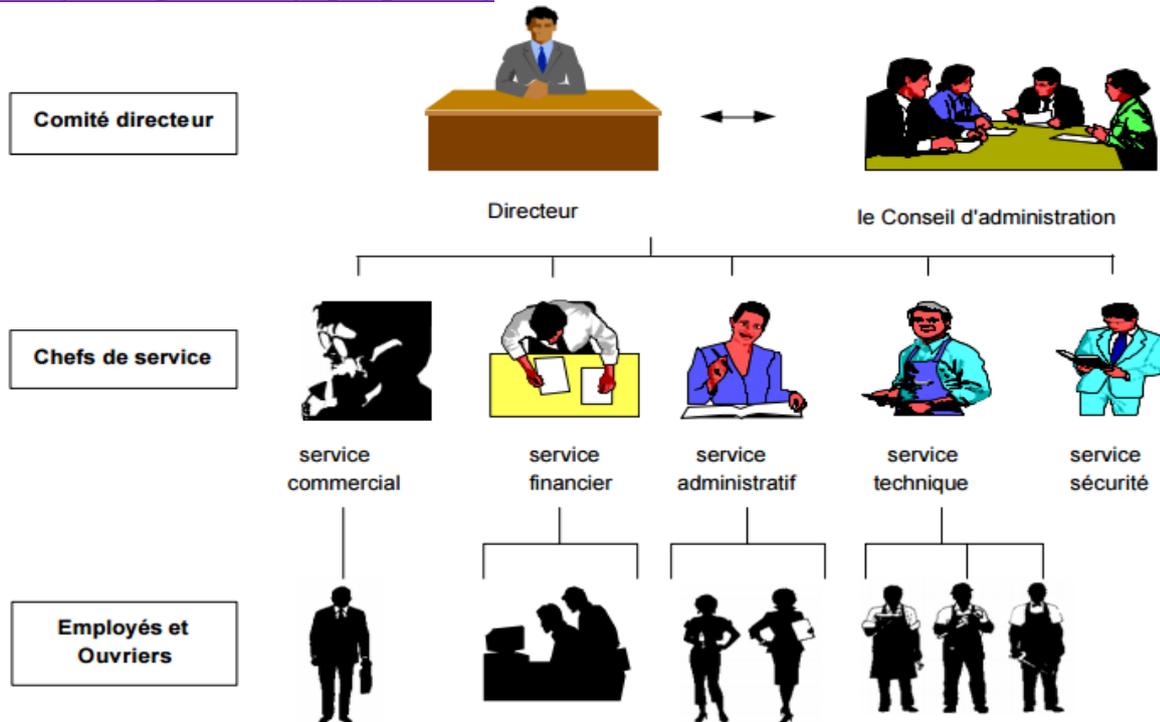
Secteur tertiaire : *Banque, transport, Commerce, assurance.*

## Structure d'une entreprise

La structure de l'entreprise repose sur les différentes fonctions exercées au sein de l'organisation. Les principales fonctions de l'entreprise sont :

- Fonction de direction (ou administrative) : projets, stratégie, organisation, contrôle...
- Fonction de production (ou technique) : étude, méthodes, fabrication, contrôle de qualité...
- Fonction commerciale : publicité, vente, après-vente, achats...
- Fonction financière : paiements, encaissements, relations avec les banques...
- Fonction de gestion des ressources humaines : recrutement et gestion du personnel.



Exemple d'organisation (organigramme)**Exercices**

Indiquer le service concerné

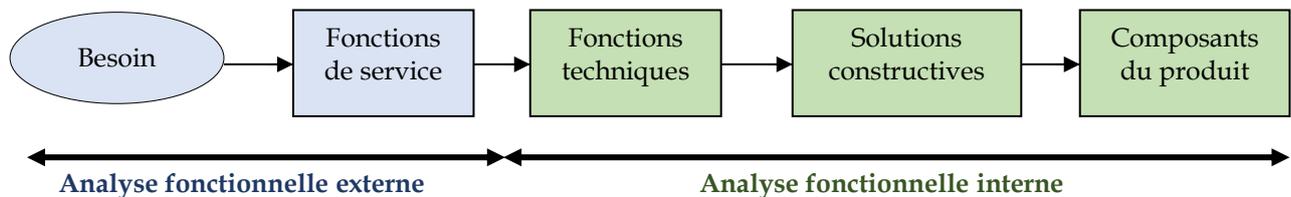
OPERATION	SERVICE
Acheter la matière première	Commercial
Payer la marchandise achetée	Financier
Fabriquer des produits	Technique
Vendre des produits	Commercial
Recevoir et contrôler les chèques	Financier
Recevoir et écrire le courrier	Administratif
Paiement des fournisseurs	Financier
Conception du prototype	Technique
Faire la publicité	Commercial
Facturation des articles vendus	Financier
Régler les salariés	Financier
Vérifier l'état des machines	Technique

A quel service appartient le personnel ?

PERSONNEL	SERVICE
Ouvrier spécialisé	Technique
Vendeuse	Commercial
Employé de bureau	Administratif, financier, commercial
Comptable	Financier
Représentant	Commercial
Agent d'entretien	Technique
Secrétaire	Administratif, financier, commercial

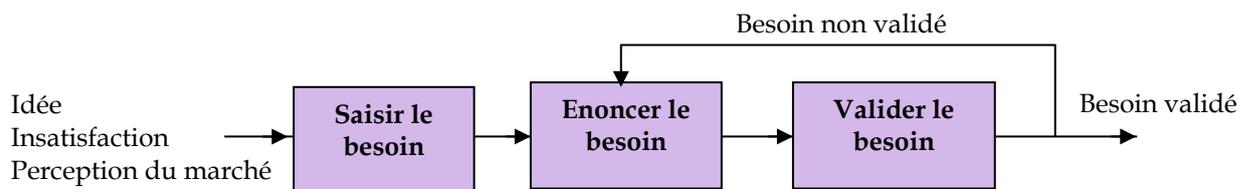
## ANALYSE FONCTIONNELLE EXTERNE

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui décrit les fonctions devant être assurées par un produit. C'est une méthode appliquée par les entreprises industrielles pour créer et améliorer un produit. Selon qu'on s'intéresse aux fonctions de services ou aux fonctions techniques, on parle d'analyse fonctionnelle externe ou interne.



### 1. Analyse du besoin

L'analyse du besoin est une méthode qui permet de caractériser le besoin exprimé. L'analyse du besoin permet de s'assurer que le besoin existe ; elle se fait en trois étapes :

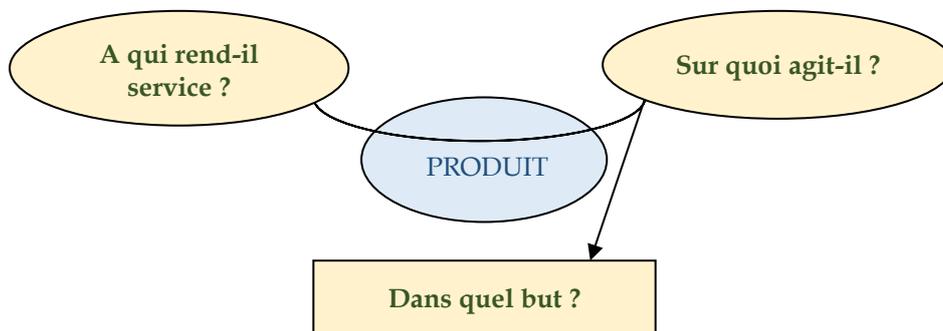


#### ⇒ Saisir le besoin

Le besoin peut consister à la création ou à l'amélioration d'un produit existant. En général c'est le service marketing qui se charge de saisir le besoin ressenti par une catégorie socioculturelle donnée. Ceci est réalisé à l'aide d'instrument d'investigation tel que l'interview, le questionnaire écrit...

#### ⇒ Enoncer le besoin

Afin d'énoncer le besoin d'un produit, on utilise l'outil "diagramme bête à cornes" qui répond à 3 questions :



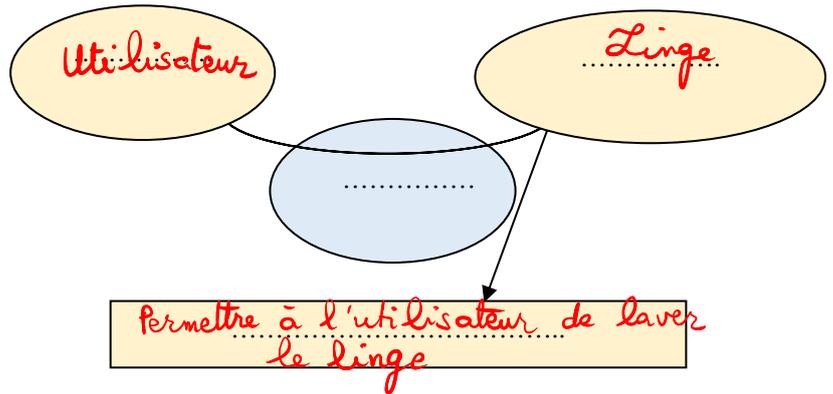
Le produit rend service à l'utilisateur en agissant sur la matière d'œuvre pour satisfaire le besoin.

#### ⇒ Valider le besoin

Pour valider ou non le besoin, il reste à poser trois questions complémentaires afin d'éviter d'étudier un produit qui ne pourrait pas se vendre :

- Pourquoi le produit existe-t-il ?
- Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?
- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?

**Exemple : Lave-linge**  
Enoncé du besoin



Validation du besoin

- Pourquoi le produit existe-t-il ?  
*Se conformer aux normes de l'hygiène.  
Se débarrasser du lavage à la main.*
- Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?  
*Une machine ne nécessitant pas de consommables (eau, électricité, lessive...) → impossible.*
- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?  
*Disparition des causes de saleté (poussière...) → impossible.  
Inventer un tissu qui se maintient toujours propre → impossible.*

Le besoin est donc validé.

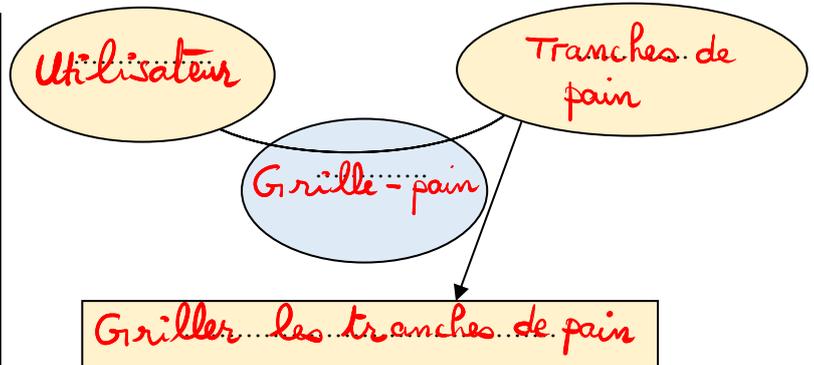
**Exercices**

Etablir la " bête à cornes " exprimant le besoin pour les produits suivants :

⇒ Grille-pain

**Éléments de réponse**

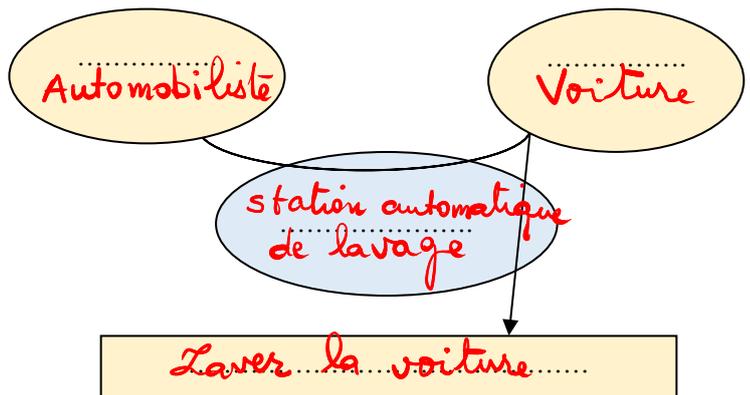
- Tranches de pain
- Utilisateur
- Chauffer le pain
- Chauffer les tranches de pain
- Griller les tranches de pain
- Grille-Pain
- Avoir du pain chaud



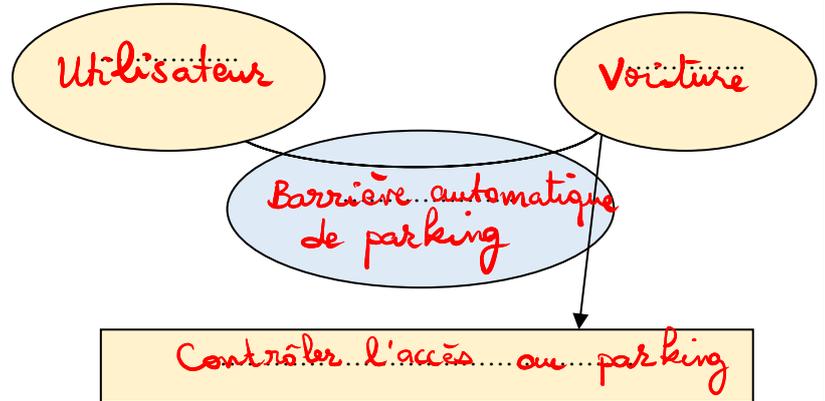
⇒ Station automatique de lavage

**Éléments de réponse**

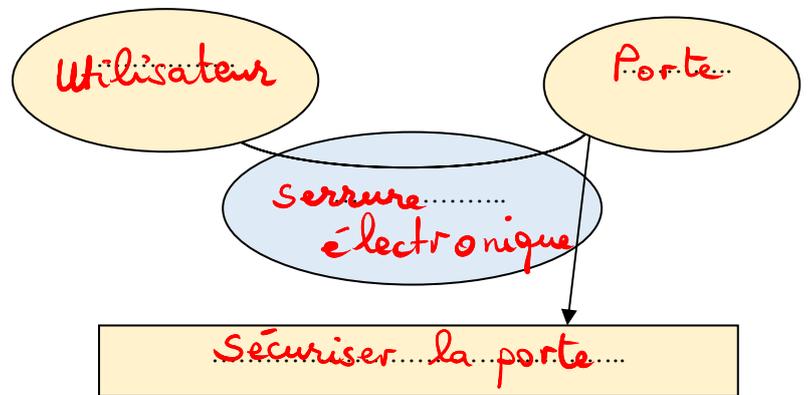
- Eau
- Automobiliste
- Garagiste
- Laver la voiture
- Produit de lavage
- Station automatique de lavage
- Voiture



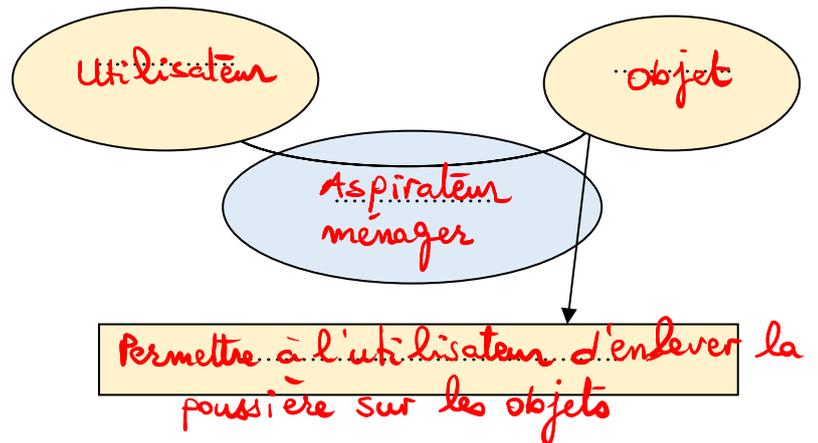
⇒ Barrière automatique de parking



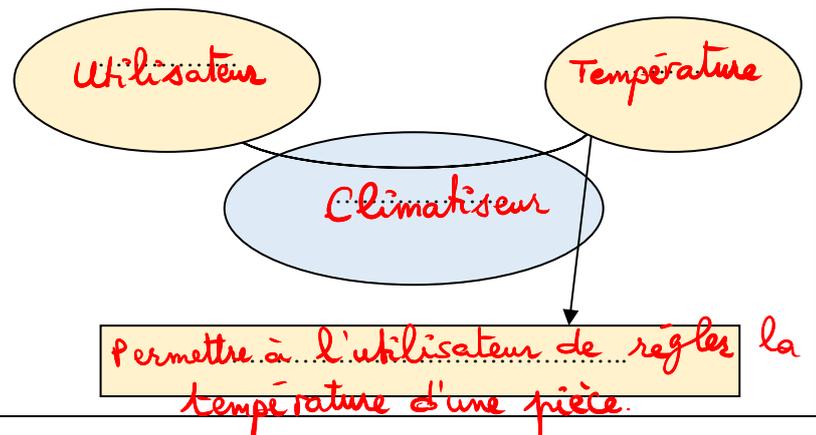
⇒ Serrure électronique



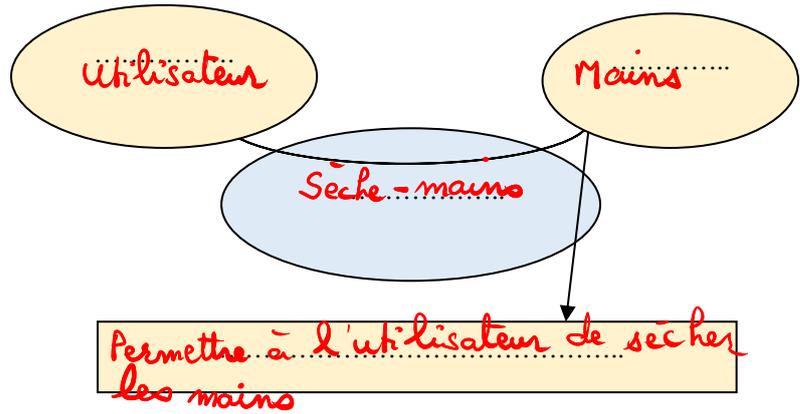
⇒ Aspirateur ménager



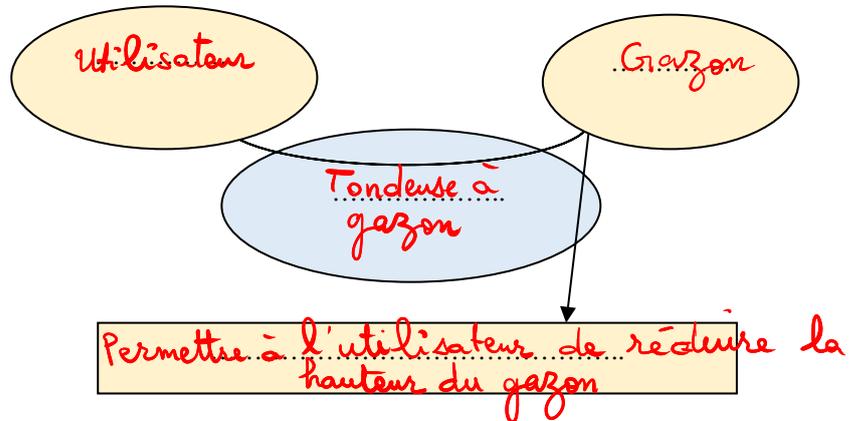
⇒ Climatiseur



⇒ Sèche-mains



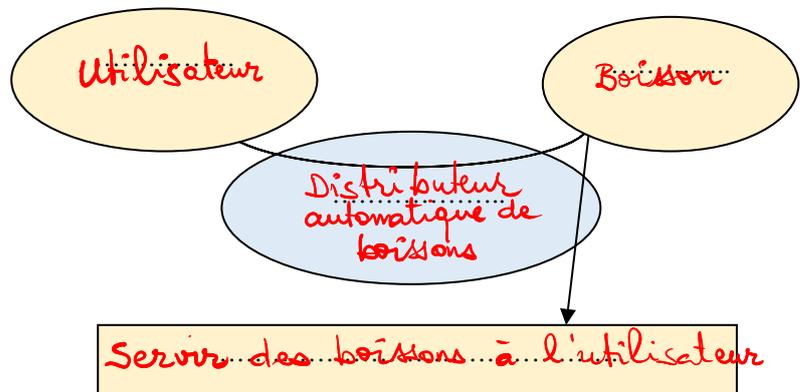
⇒ Tondeuse à gazon



Validation du besoin

- Pourquoi le produit existe-t-il ?  
*Pour se passer de la cisaille à gazon manuelle.*
- Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?  
*Une tondeuse automatique.*
- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?  
*Un gazon à hauteur invariable.*

⇒ Distributeur automatique de boisson

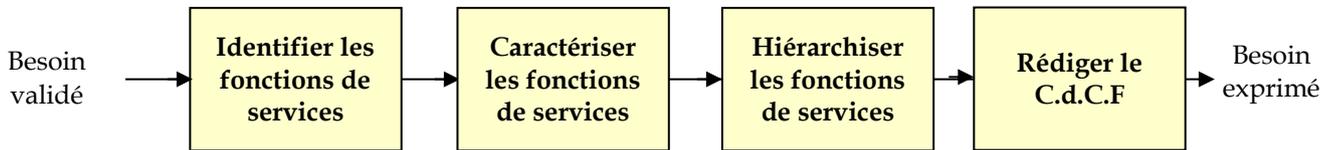


Validation du besoin

- Pourquoi le produit existe-t-il ?  
.....
- Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?  
.....
- Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?  
.....

## 2. Etude de la faisabilité

L'un des buts de l'analyse fonctionnelle est d'identifier clairement les fonctions qui contribuent à l'expression fonctionnelle du besoin de l'utilisateur, c'est l'objet de l'étude la faisabilité ; elle se fait en quatre étapes :



### ⇒ Identifier les fonctions de service

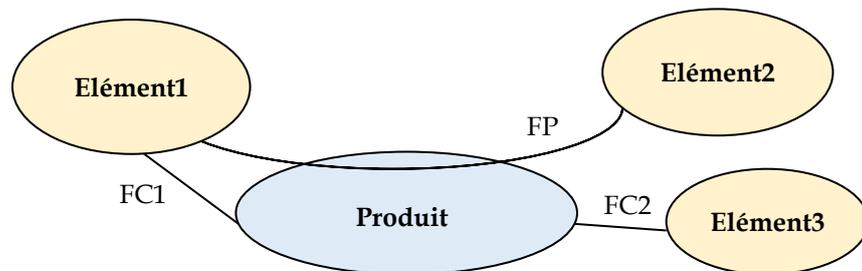
La fonction de service est l'action attendue d'un produit pour répondre à un élément du besoin. On distingue :

- **Fonction principale FP** : c'est l'expression même du besoin qui justifie la création du produit ;
- **Fonction contrainte FC** : fonction qui représente une contrainte par le milieu extérieur.

Une fonction de service peut être :

- **Fonction d'usage** : si elle justifie l'utilité ou l'usage du produit, exemple : corriger la vue, protéger du soleil pour une paire de lunettes ;
- **Fonction d'estime** : décrit ce qui peut plaire ou être agréable à l'utilisateur : esthétique, prix, qualité ..., exemple : forme papillon pour une paire de lunettes.

Pour représenter les relations du produit avec les éléments du milieu extérieur, on utilise le diagramme des interactions (ou de pieuvre).



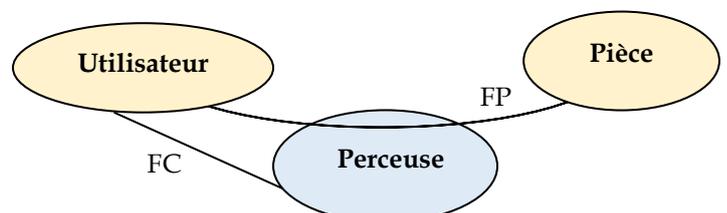
- Une FP relie deux ou plusieurs éléments du milieu extérieur par l'intermédiaire du produit ;
- Une FC relie un élément du milieu extérieur au produit.

Le milieu extérieur peut être :

- Ambiance : climat, température...
- Energie : réseau électrique...
- Individu : utilisateur, technicien...
- Objet : mur, table....

### Exemple

FP : permettre à l'utilisateur de percer la pièce  
FC : être réglable par l'utilisateur



Exercices

Compléter ces diagrammes des interactions :

FP1 : Permettre à l'utilisateur de diminuer la hauteur du gazon

FP2 : Permettre à l'utilisateur d'évacuer les déchets de gazon

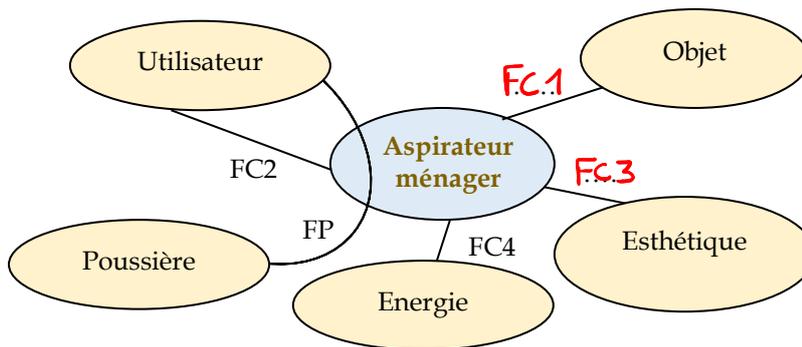
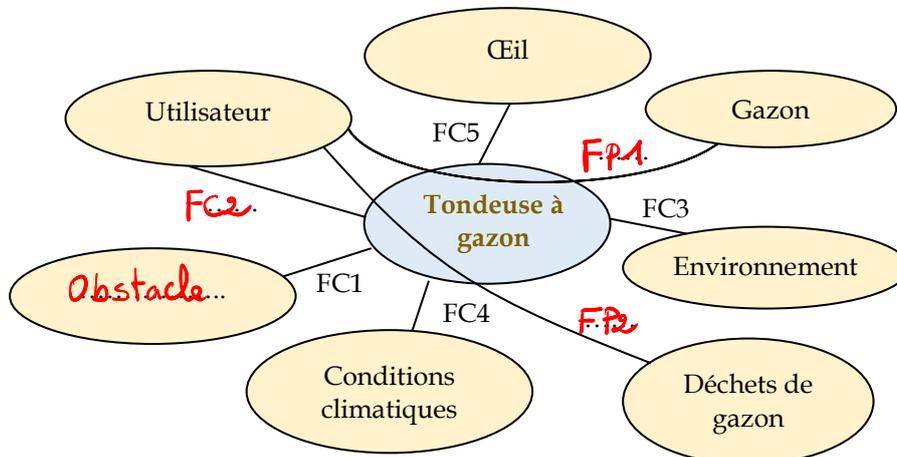
FC1 : S'adapter aux divers obstacles

FC2 : Assurer la sécurité de l'utilisateur

FC3 : ..Respecter...l'...environnement (ou ne pas nuire à l'envir.)

FC4 : ..Résister...aux...conditions climatiques

FC5 : ..Plaire...à...l'œil... (ou être esthétique)



FP : Permettre à l'utilisateur d'enlever la poussière sur les objets

FC1 : S'adapter à toute forme d'objet

FC2 : ..Être...facile...à...déplacer.....

FC3 : Avoir une couleur et une forme qui s'adaptent au décor environnant

FC4 : ..Se...brancher...sur...le...réseau...électrique.....

FU / FE

.....FU.....

.....FU.....

.....FU.....

.....FE.....

.....FU.....

⇒ Caractériser les fonctions de service

Après avoir identifié les fonctions de service, Il faut définir les caractéristiques de chaque fonction par détermination des éléments suivants :

- **Critère d'appréciation** : manière dont une fonction de service est respectée ;
- **Niveau d'exigence** : valeur attendue d'un critère en vue de satisfaction du besoin ;
- **Flexibilité** : marge acceptable du niveau d'exigence. On distingue 4 niveaux de flexibilité :
  - F0 : Flexibilité nulle → impératif
  - F1 : Flexibilité faible → peu négociable
  - F2 : Flexibilité moyenne → négociable
  - F3 : Flexibilité forte → très négociable

Exemple

Fonction de service	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
S'adapter au réseau électrique	Tension d'alimentation	220 V	± 10 %
Être rapide	Vitesse de rotation	1500 tour/min	F0

⇒ Hiérarchiser les fonctions de service

Il s'agit de comparer l'importance de chaque fonction par rapport aux autres. La comparaison est un travail de groupe permettant d'affecter une note à chaque fonction.

⇒ Rédiger le C.d.C.F

Le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) est le document qui récapitule la démarche et les résultats de l'analyse fonctionnelle du besoin. Il porte donc essentiellement sur les fonctions de service. L'établissement du CdCF implique que les besoins de l'utilisateur sont cernés avec précision.

Exemple : tondeuse à gazon

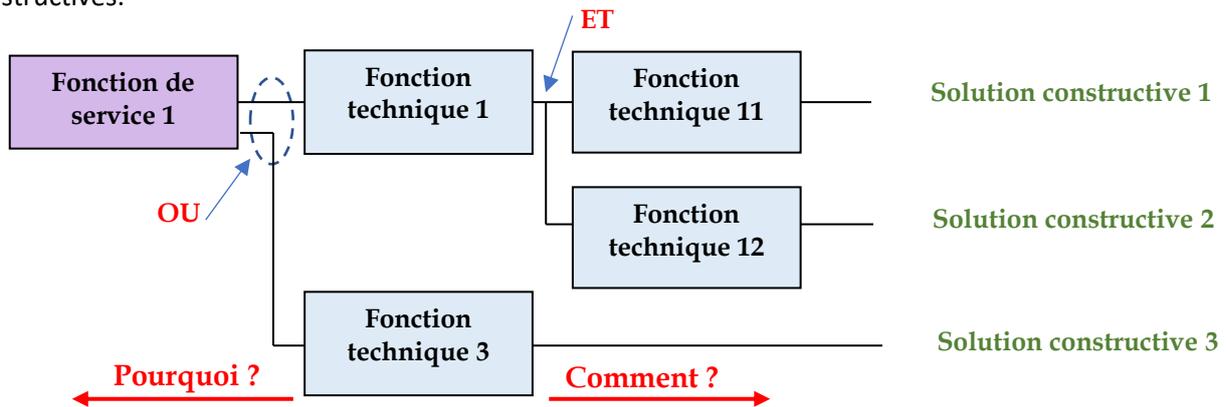
Fonction de service	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence	Flexibilité
FP1 : Permettre à l'utilisateur de diminuer la hauteur du gazon	Hauteur de coupe	5 à 15 cm	F2
FP2 : Permettre à l'utilisateur d'évacuer les déchets du gazon	Surface du gazon	Tous les 25 à 100 m <sup>2</sup>	F2
FC1 : S'adapter aux divers obstacles	Hauteur de l'obstacle Profondeur du trou Pente	Moins de 4 cm 1 à 5 cm 5 à 30°	F1
FC2 : Assurer la sécurité de l'utilisateur	Normes de sécurité		F0
FC3 : Respecter l'environnement	Niveau sonore	60 dB (décibel)	± 5%
FC4 : Résister aux conditions	Corrosion	Inoxydable	F0
FC5 : Plaire à l'œil	Couleur Forme	Rouge, bleu Arrondie	F1 F2

**ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE**

Les fonctions de service étant exprimées, l'analyse fonctionnelle interne s'intéresse aux fonctions techniques permettant de les satisfaire.  
L'identification de ces fonctions techniques permet d'établir et de choisir les solutions constructives associées.

**1. Diagramme FAST (Fonction Analysis System Technique)**

Il permet de décomposer chaque fonction de service en fonctions techniques et débouche sur les solutions constructives.

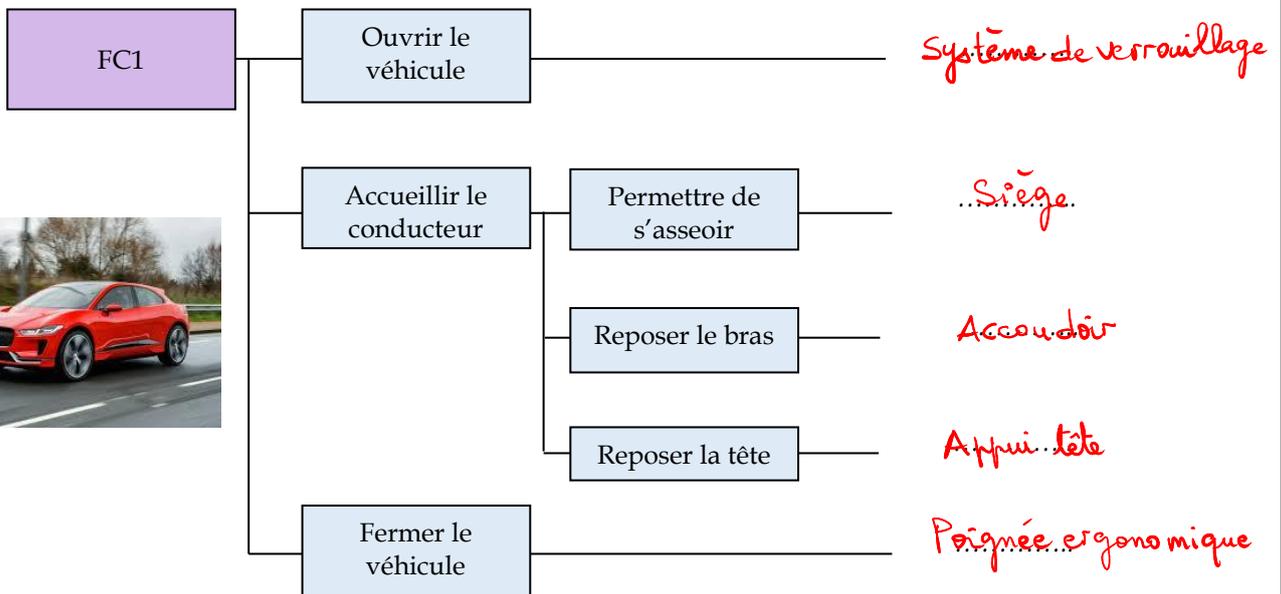
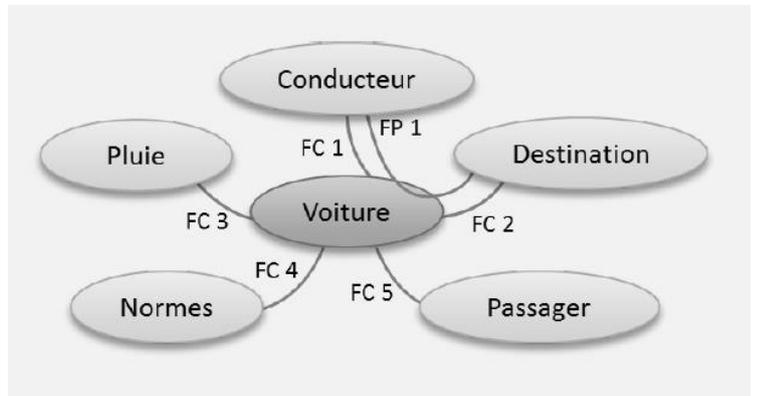


**Exercice**

Considérons le suivant diagramme pieuvre du produit "voiture".

Utiliser les propositions fournies pour compléter le FAST de la fonction de service FC1 "Accueillir le conducteur confortablement" :

*Siège, accoudoir, système de verrouillage, poignée ergonomique, appui tête*



## Exercice

Compléter, par les propositions fournies, le FAST partiel d'une moto.

*Courroie*

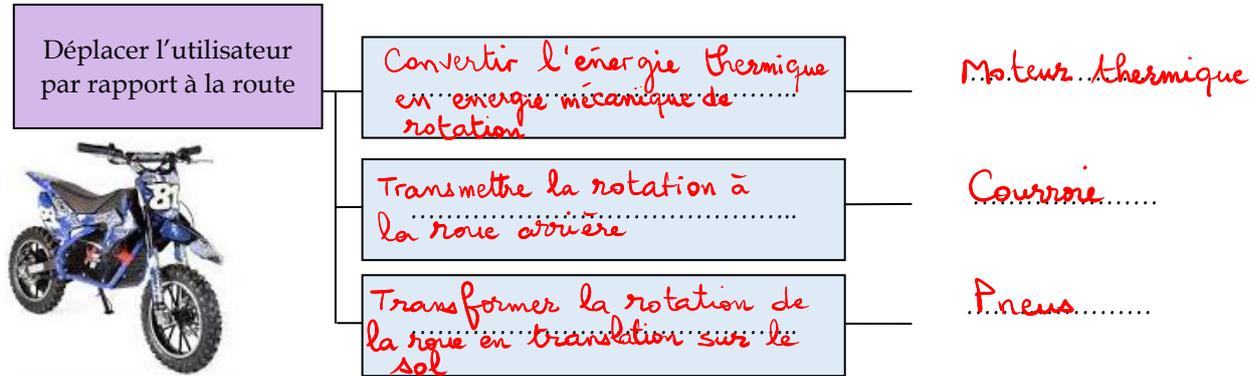
*Convertir l'énergie thermique en énergie mécanique de rotation*

*Transformer la rotation de la roue en translation sur le sol*

*Pneus*

*Moteur thermique*

*Transmettre la rotation à la roue arrière*

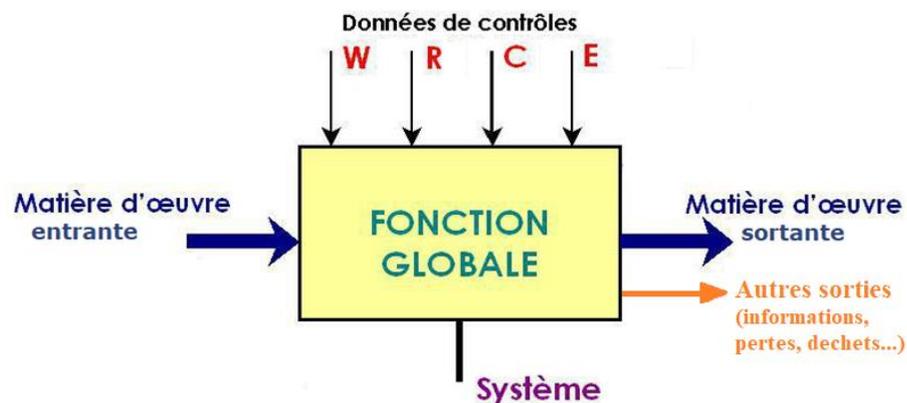


## 2. Diagramme SADT (Structure Analys and Design Technic)

Il permet de représenter un modèle du système en faisant apparaître à l'aide d'actigrammes :

- Ce qui entre → matière d'œuvre entrante MOE.
- Ce qui sort → matière d'œuvre sortante MOS = MOE + Valeur ajoutée (VA).
- Et les échanges de données, énergies, contrôles...

⇒ L'actigramme A-0 (A moins zéro)



### Données de contrôle

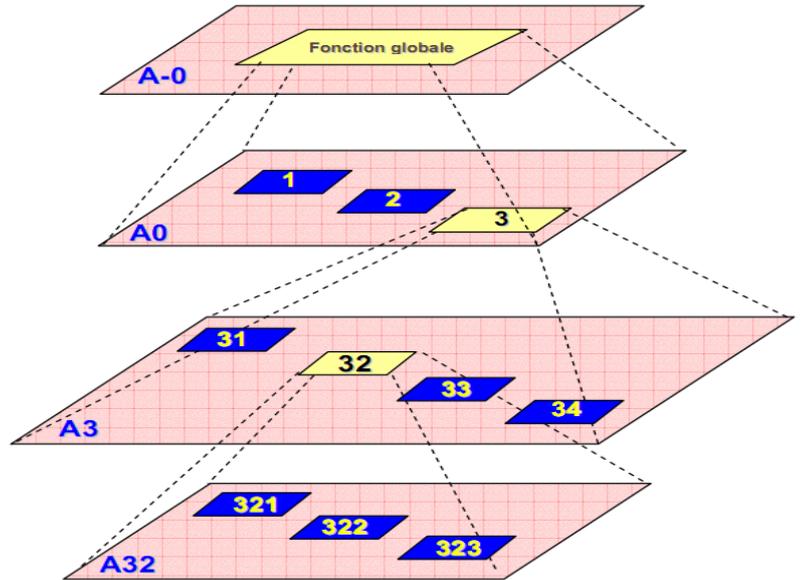
- **W** : contrainte d'énergie (électrique, pneumatique, mécanique ...);
- **R** : contrainte de réglage, sans modification de l'activité du système (réglage de vitesse, de température...);
- **C** : contrainte de configuration, avec modification de l'activité (modes de marches, programmation ...);
- **E** : contrainte d'exploitation (marche, arrêt...).

⇒ Analyse descendante

On procède par analyses successives descendantes, c'est à dire en allant du plus général vers le plus détaillé en fonction des besoins.

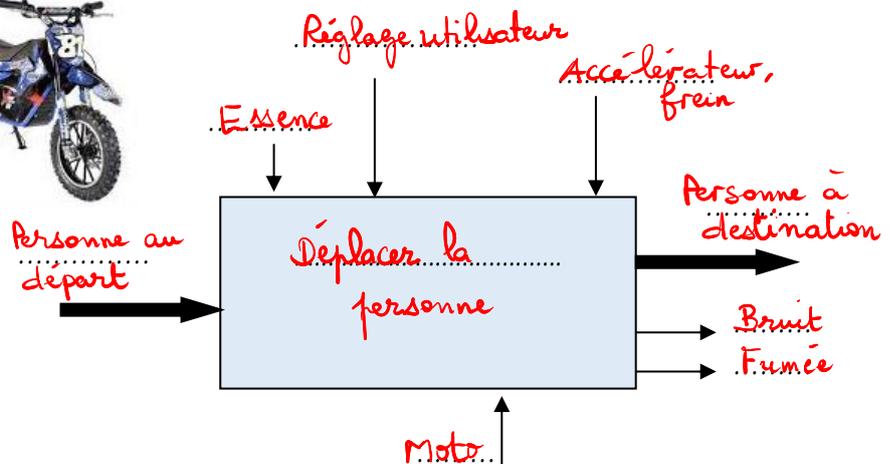
Chaque bloc se décompose en plusieurs blocs permettant de réaliser la fonction exprimée :

- Le niveau A-0 est le niveau le plus élevé, il exprime la fonction globale du système.
- Le niveau A0 représente la décomposition de A-0 en blocs A1, A2, A3...
- Le niveau A1 décompose le bloc A1 en blocs A11, A12, A21
- Et ainsi de suite....

Exercices

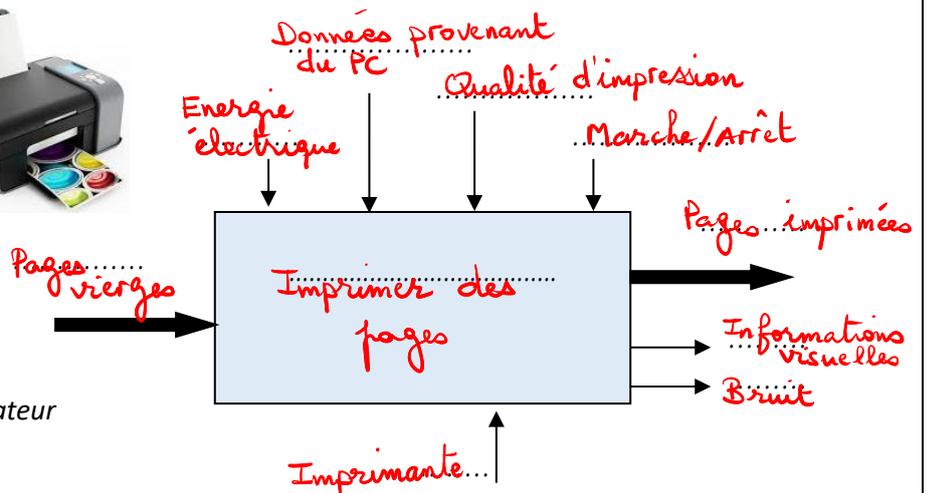
En utilisant les différentes propositions données ci-dessous, compléter l'actigramme correspondant à la fonction globale d'une moto.

- Bruit
- Déplacer la personne
- Personne au départ
- Moto
- Essence
- Fumée
- Accélérateur, frein
- Personne à destination
- Réglage utilisateur



Compléter l'actigramme A-0 traduisant la fonction globale d'une imprimante.

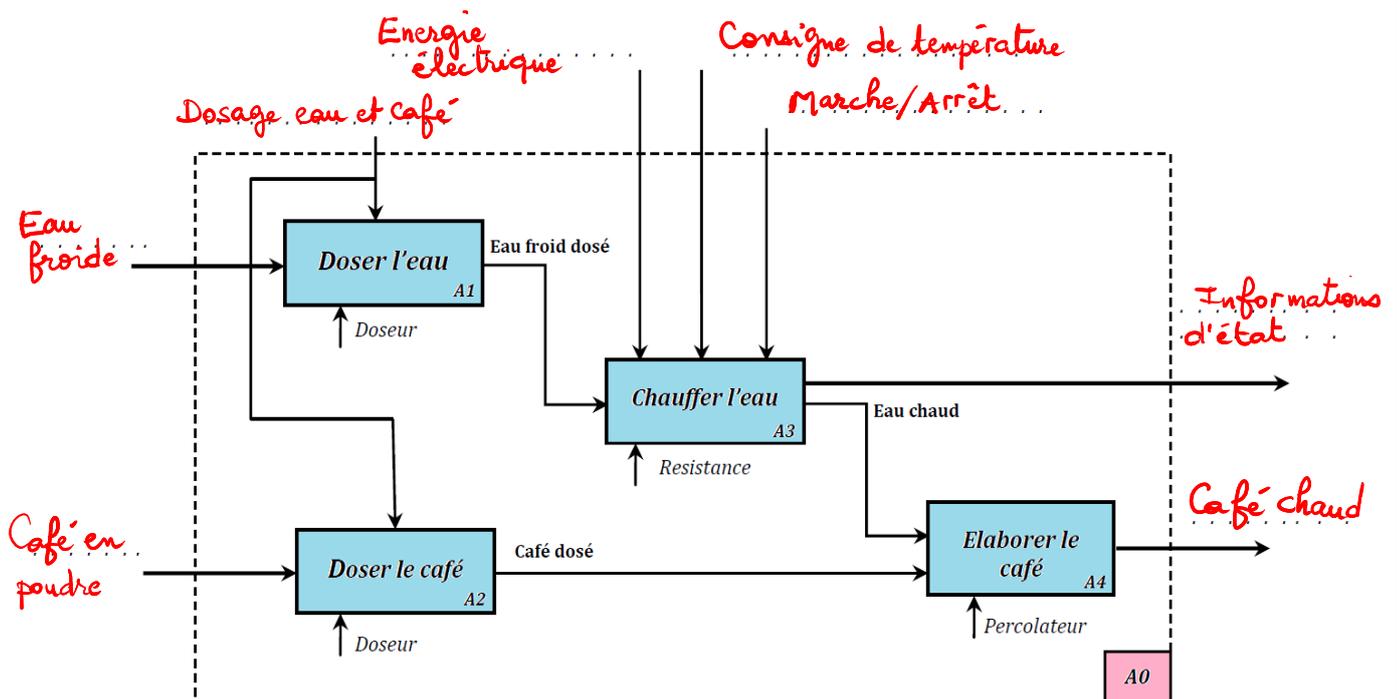
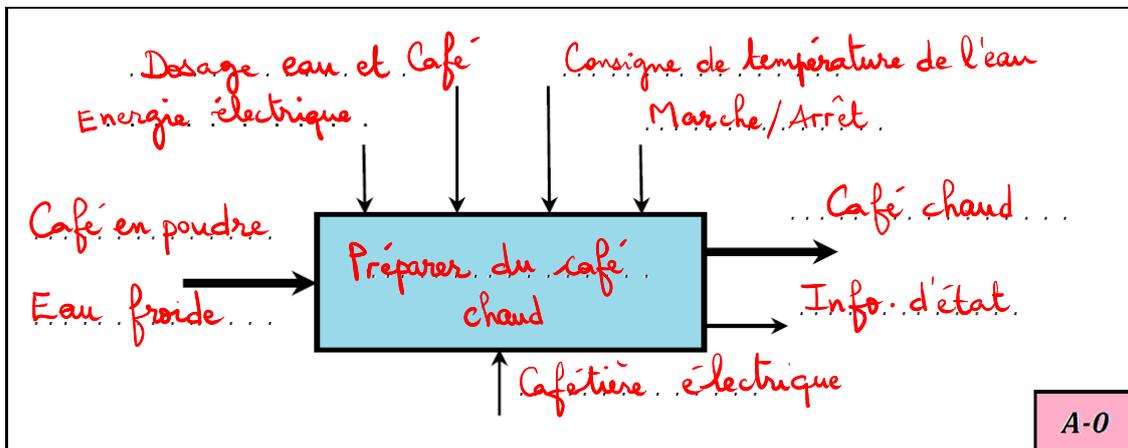
- Energie électrique
- Informations visuelles
- Marche/arrêt
- Imprimante
- Qualité d'impression
- Pages imprimées
- Bruit
- Pages vierges
- Imprimer des pages
- Données provenant de l'ordinateur



**Exercice : machine à café**

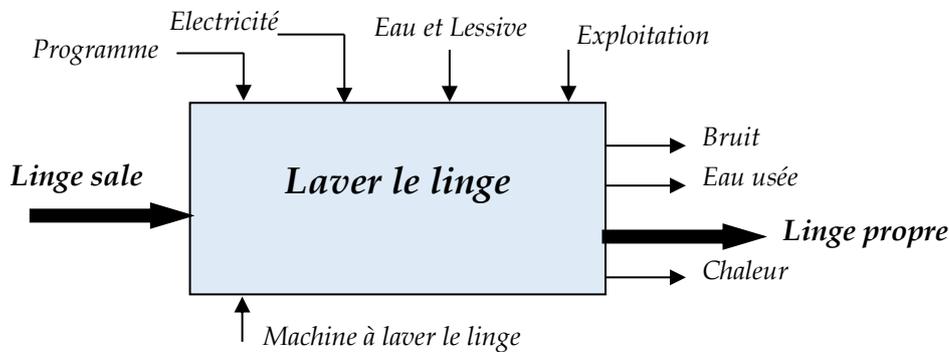
En utilisant les différentes propositions données, compléter l'actigramme A-0 et A0 d'une cafetière

- Eau froide
- Marche/arrêt
- Café en poudre
- Consigne de température de l'eau
- Informations d'état
- Cafetière électrique
- Dosage eau et café
- Café chaud
- Préparer du café chaud
- Energie électrique



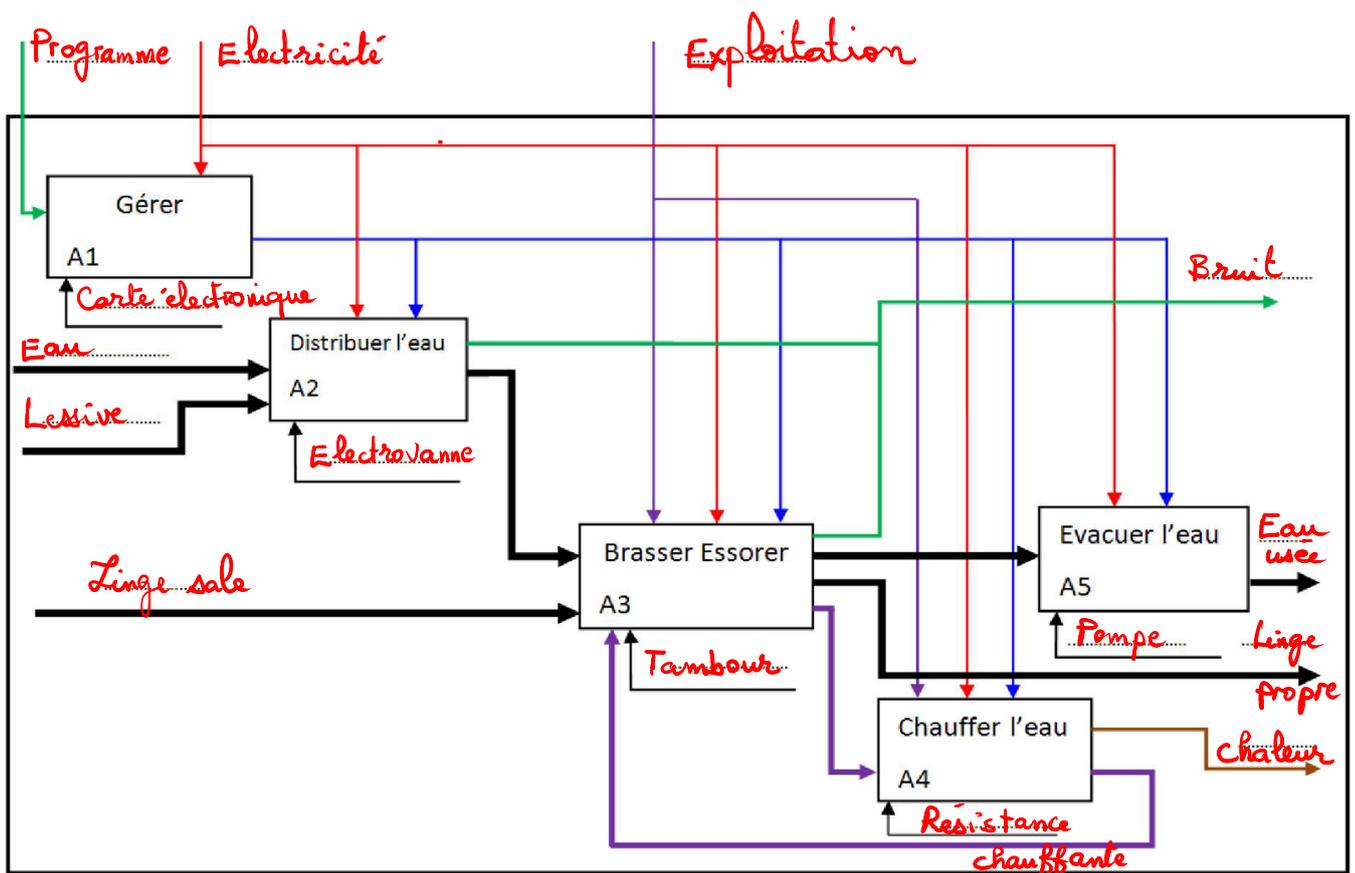
## Exercice : machine à laver le linge

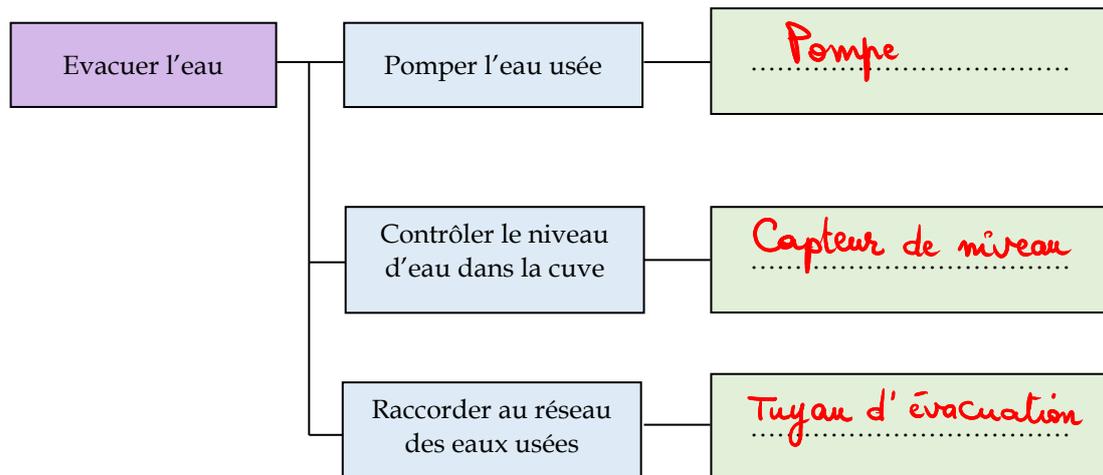
On fournit l'actigramme A-0 d'un lave-linge ainsi qu'une description (non exhaustive) de son fonctionnement. Compléter l'actigramme AO ainsi que le FAST partiel décrivant la fonction de service "Evacuer l'eau".



La réalisation d'un cycle de lavage fait intervenir différents éléments :

- Le tambour est un cylindre en acier inoxydable percé de trous dans lequel le linge est déposé. Il tourne dans une cuve étanche en matière plastique ; c'est dans cette cuve que circule l'eau. Une résistance chauffante placée sous le tambour permet de chauffer l'eau ;
- Une électrovanne distribue l'eau par l'un des compartiments du bac à lessive ;
- Une pompe est chargée de vider l'eau de la cuve. Cette eau usée est déversée dans le réseau des eaux usées à travers un tuyau d'évacuation ;
- Un capteur de niveau et un capteur de température contrôlent respectivement le niveau et la température du bain lessiviel dans la cuve ;
- Une carte électronique, à base de microcontrôleur, gère le cycle de lavage.



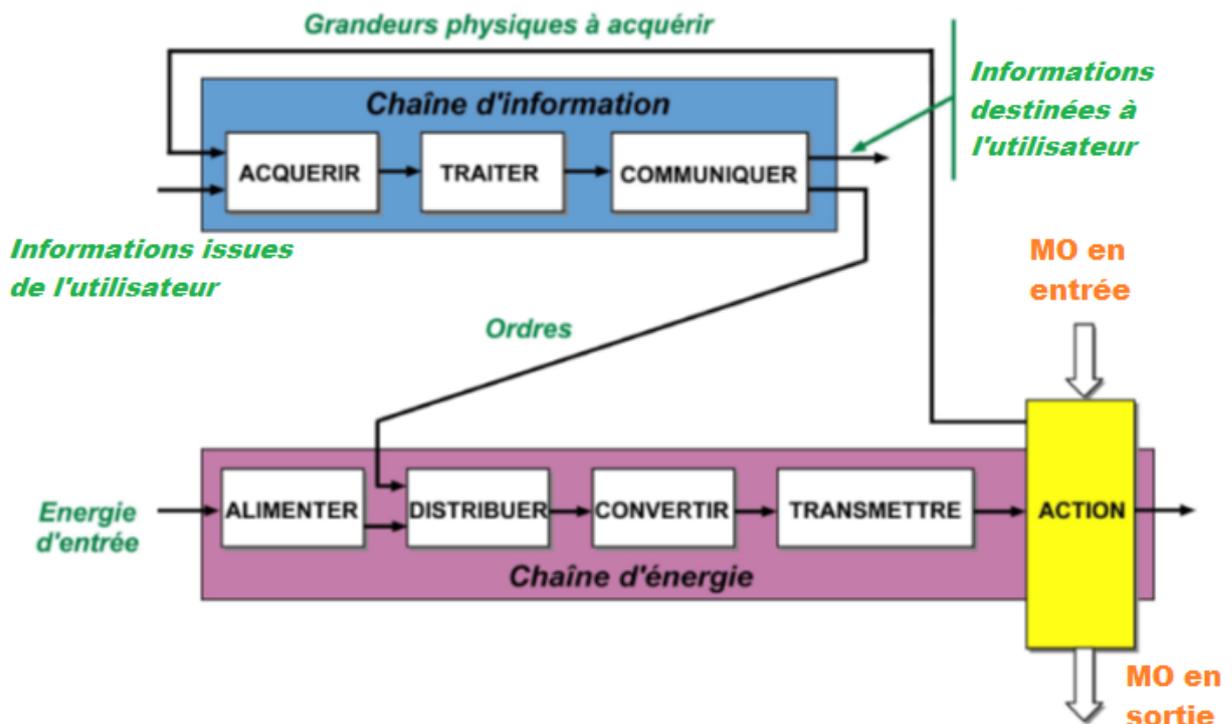


### 3. Architecture fonctionnelle d'un système automatisé

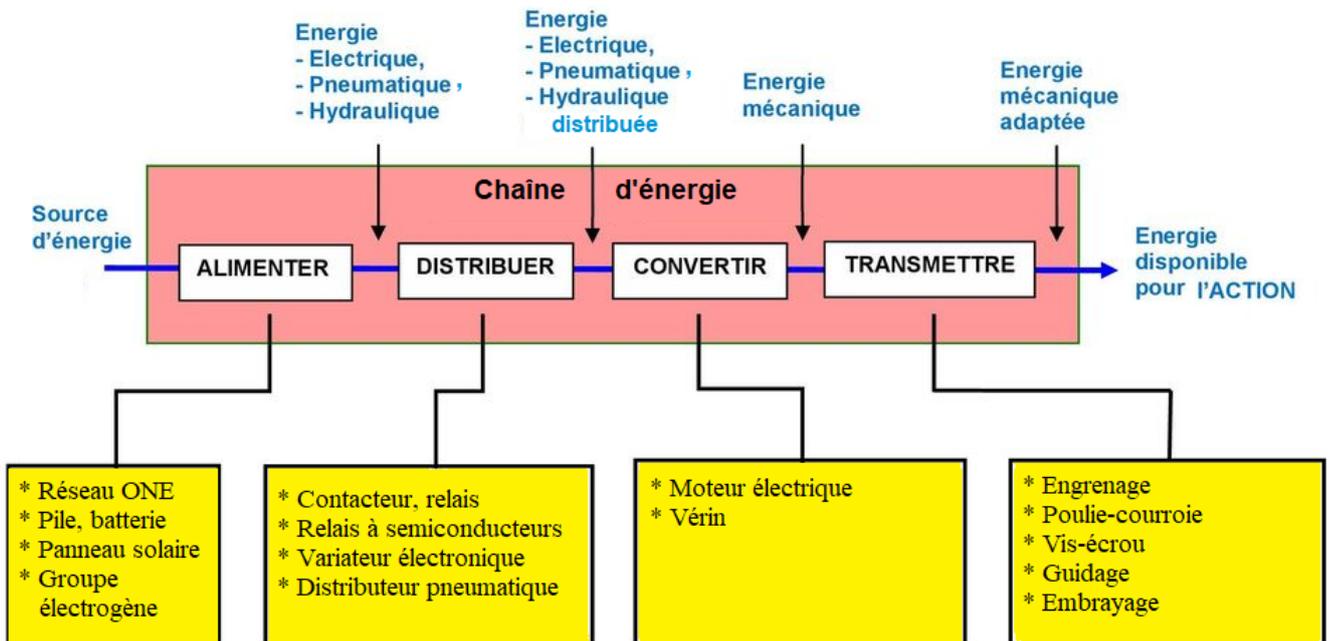
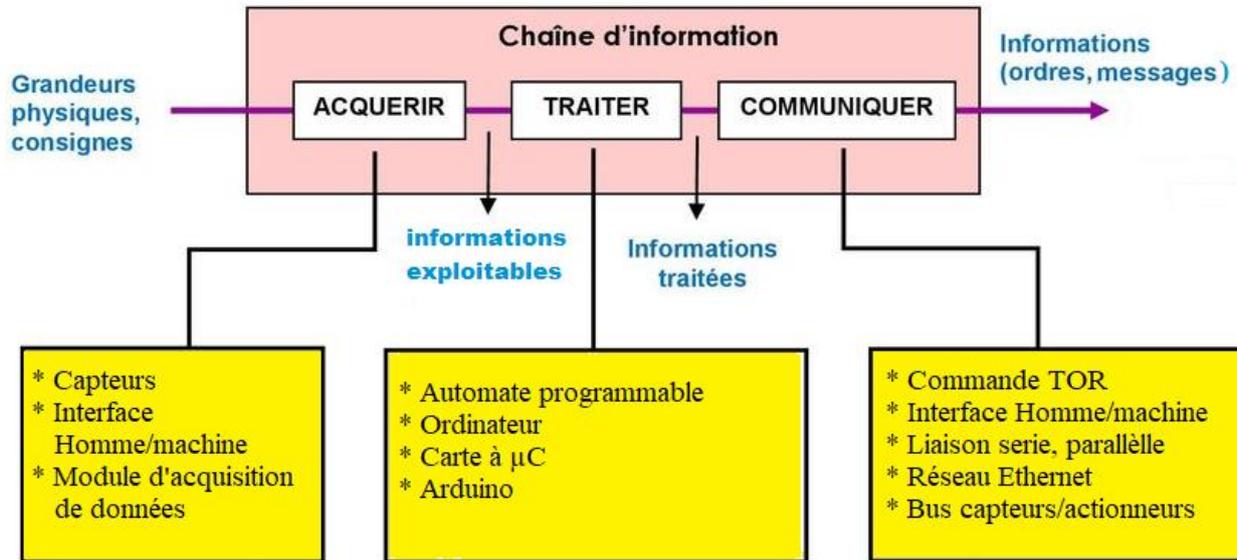
Un système automatisé est un système capable d'effectuer une ou plusieurs opérations sans intervention de l'homme. Un tel système permet principalement d'améliorer la compétitivité du produit.

La chaîne fonctionnelle permet de représenter le fonctionnement d'un système automatisé. Cette chaîne fonctionnelle se décompose en deux parties :

- **La chaîne d'énergie** : elle transforme l'énergie (électrique, pneumatique, mécanique, hydraulique...) qu'elle reçoit et agit directement sur la matière d'œuvre MO pour lui apporter la valeur ajoutée VA ;
- **La chaîne d'information** : elle manipule l'information et permet de commander la machine.



Des exemples de composants de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie sont donnés ci-après :



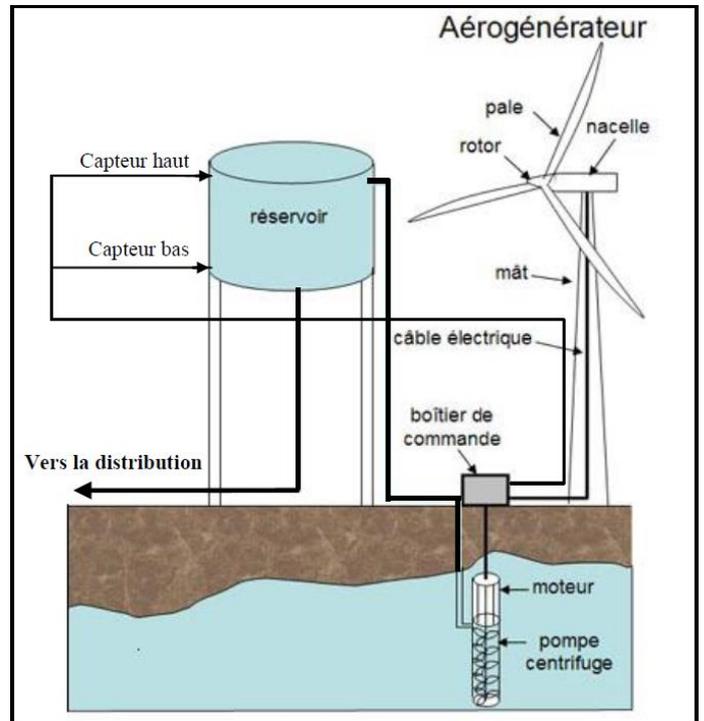
## Exercice : pompage automatique d'eau

La chaîne énergie est composée de :

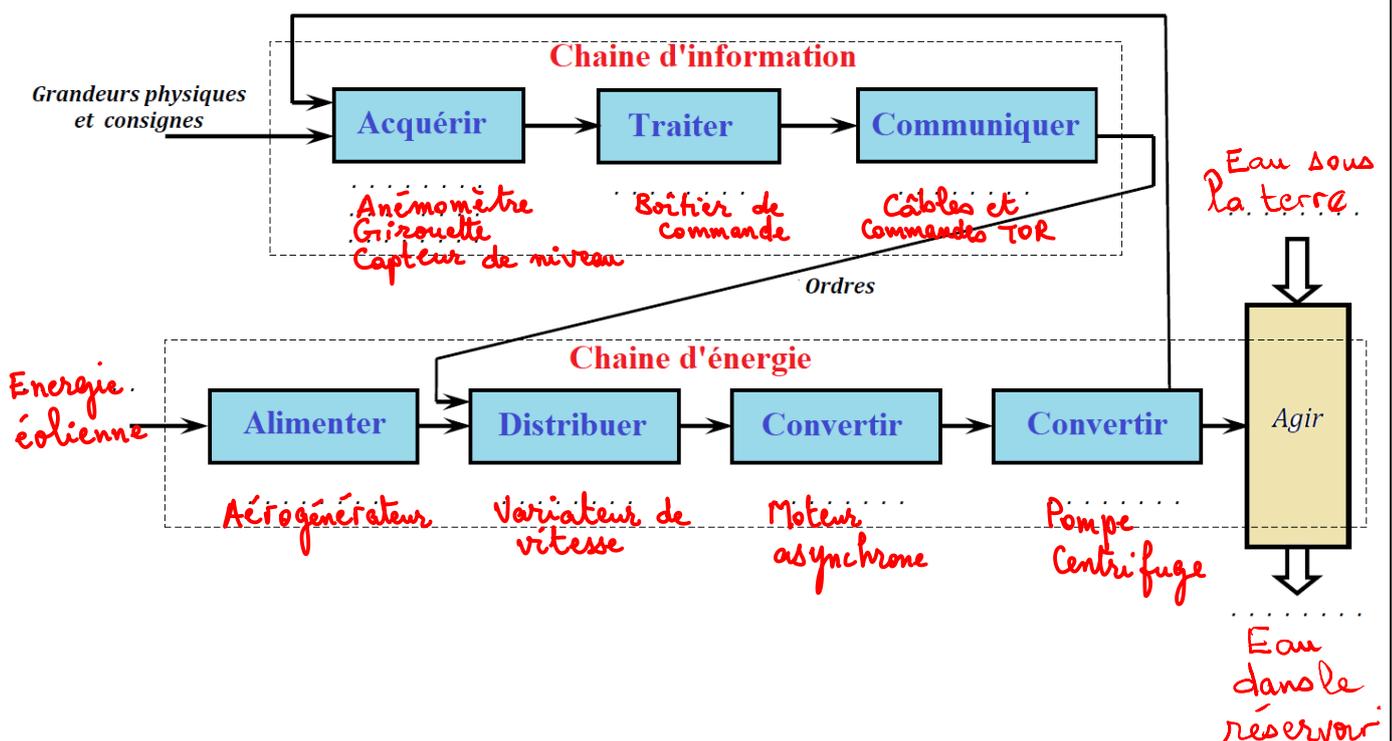
- Un aérogénérateur : fournit de l'énergie électrique à partir de l'énergie éolienne (du vent) ;
- un moteur asynchrone : convertit l'énergie électrique en une énergie mécanique nécessaire à l'entraînement de la pompe.
- Un variateur de vitesse : permet de commander la vitesse du moteur ;
- Une pompe centrifuge : transforme l'énergie mécanique du moteur en énergie potentielle hydraulique.

La chaîne d'information est composée :

- Un boîtier de commande muni d'un microprocesseur qui permet de gérer :
  - L'orientation des pales et de la nacelle de l'aérogénérateur ;
  - Le niveau d'eau dans le réservoir.
- Des câbles et des commandes TOR pour véhiculer les informations issues du boîtier de commande ;
- Des capteurs d'intensité et direction du vent (anémomètre et girouette) ;
- Capteur de niveau (haut et bas).



Compléter la chaîne fonctionnelle de la pompe automatique d'eau.



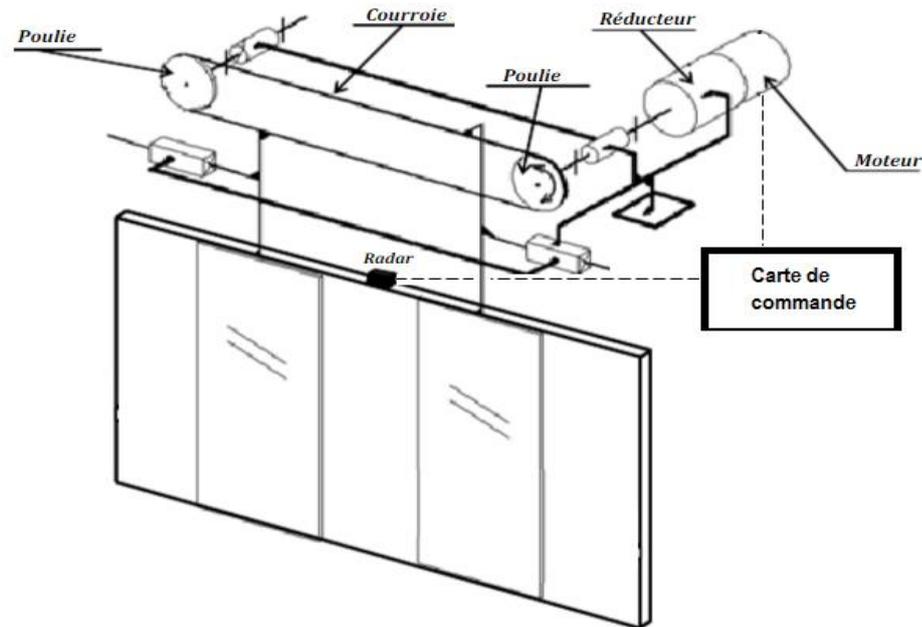
## EXERCICES D'ANALYSE FONCTIONNELLE DE SYSTEMES (ETUDE DE CAS)

## OUVRE-PORTE

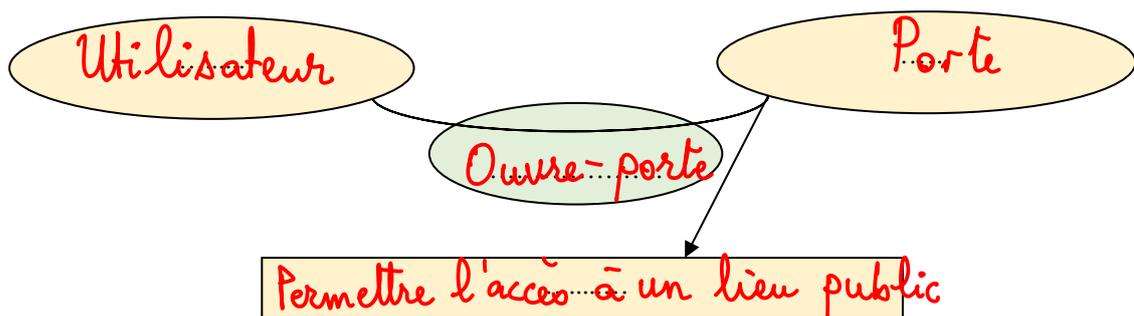
**Mise en situation**

Les lieux publics très fréquentés, et en particulier les grands magasins, sont équipés d'accès à ouverture des portes automatiques afin d'offrir aux usagers un accès aisé, fluide en toute sécurité et en toutes circonstances.

Le but de ce TD est de faire une analyse fonctionnelle du système d'ouvre-porte afin de comprendre sa structure et de prendre conscience des sous-systèmes présents dans les portes automatiques.



⇒ Formuler le besoin auquel répond le système en complétant le diagramme "bête à cornes"



⇒ Identifier la nature de la matière d'œuvre transformée par le système (matière, énergie, information)

Matière..... (MOE = porte.)

⇒ Considérons le diagramme pieuvre ci-dessous.

▪ Donnez une description littérale de la fonction principale FP.

Permettre l'accès à un lieu public

▪ Tracez et repérez les fonctions Fc1, Fc2, Fc3, Fc4 et Fc5.

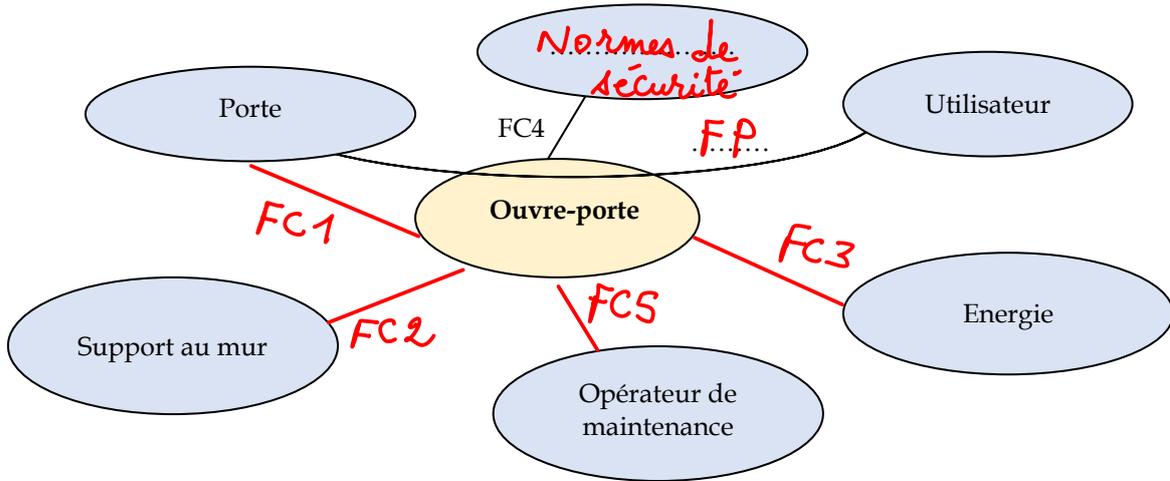
Fc1 : Ouvrir les portes en cas de panne du réseau d'électricité

Fc2 : Se fixer à un support.

Fc4 : Respecter les normes de sécurité

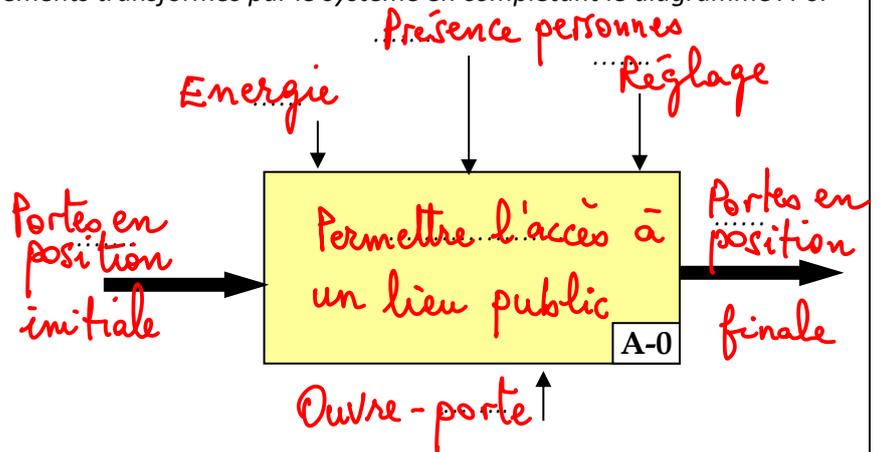
Fc3 : S'adapter au réseau d'énergie.

Fc5 : Permettre une intervention de maintenance.

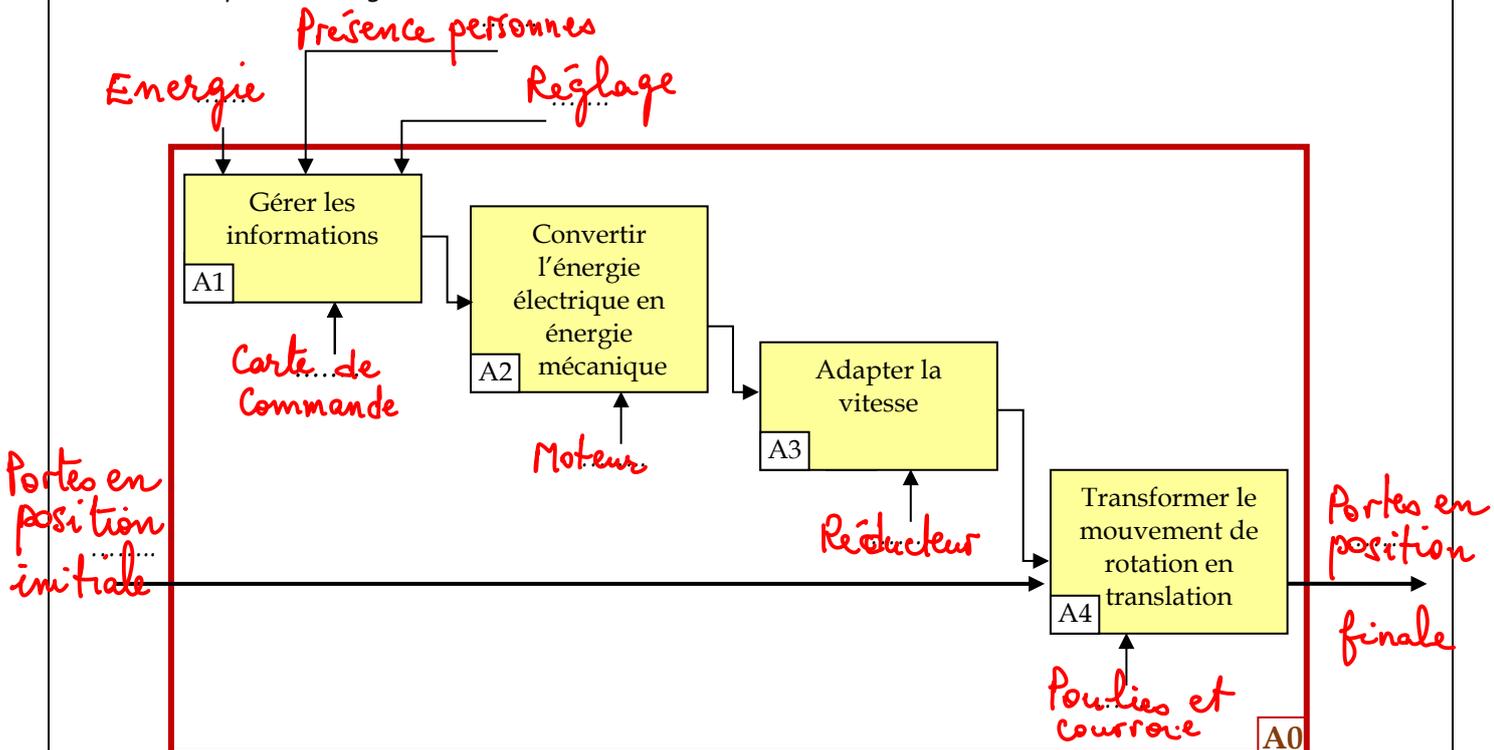


⇒ Identifier la fonction globale et les éléments transformés par le système en complétant le diagramme A-0.

- Energie
- Portes en position initiale
- Ouvre-porte
- Portes en position finale
- Présence personnes
- Réglages



⇒ Compléter le diagramme A0

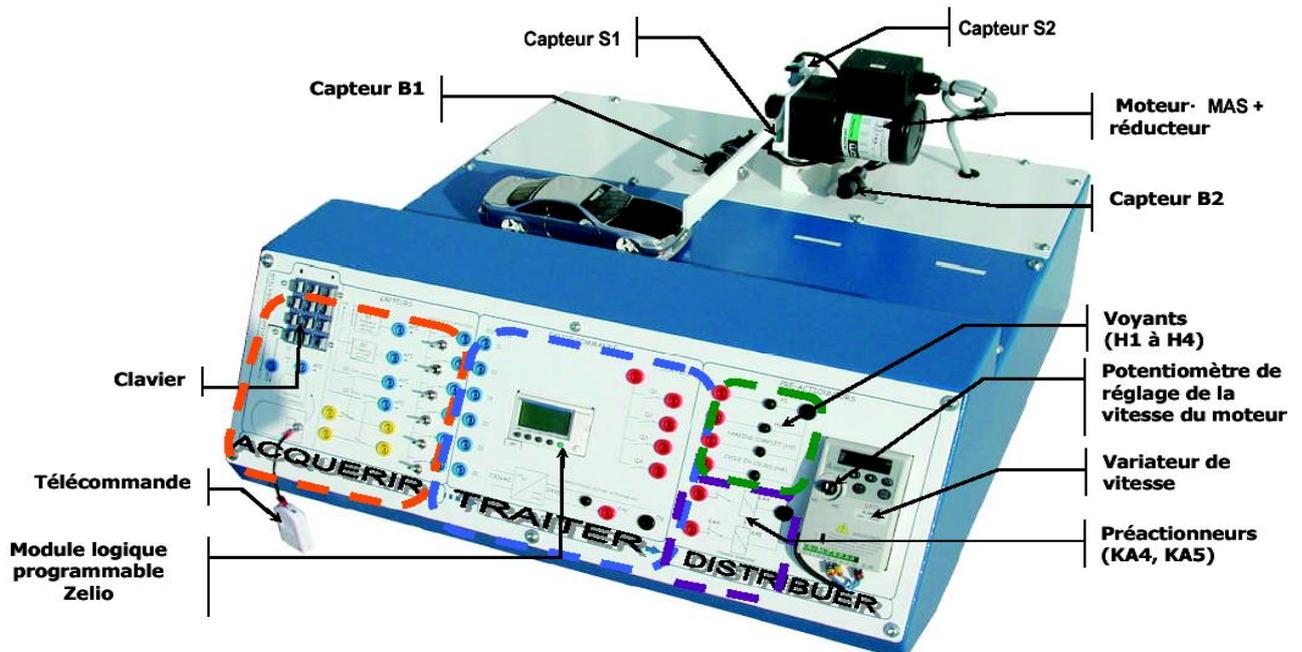


**BARRIÈRE AUTOMATIQUE DE PARKING****Présentation du système**

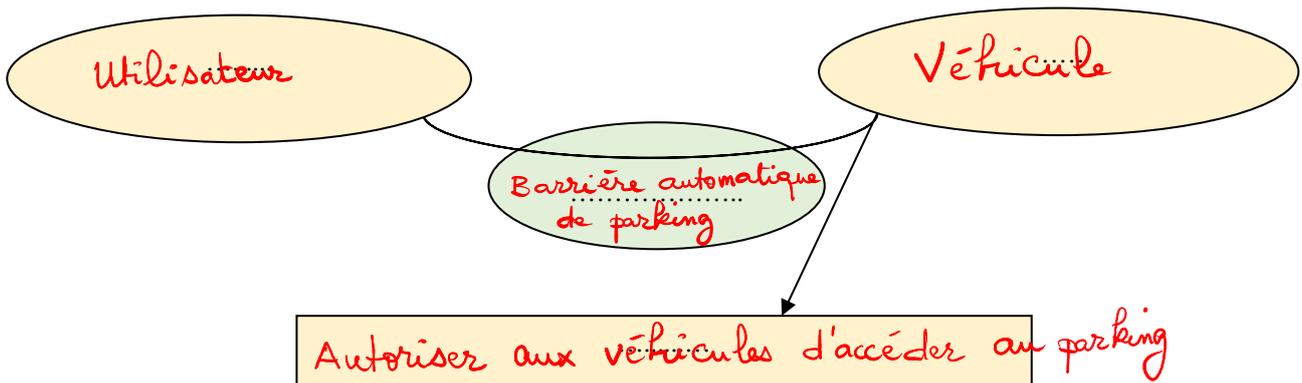
Le système, objet de l'étude, est une maquette à échelle réduite d'une barrière destinée à contrôler l'accès à un parking de stationnement de véhicules.

Comme l'indique la figure ci-dessous, le système est composé de :

- Une barrière ;
- Deux **capteurs photoélectriques** B1 et B2 qui détectent les véhicules en entrée et en sortie du parking ;
- Un clavier 12 touches permettant la saisie d'un code valable par les usagers pour pouvoir accéder au parking ;
- Une télécommande pour commander l'ouverture de la barrière à distance ;
- Deux **capteurs à galet** (S1 et S2) détectant la position de la barrière (positions haute et basse) ;
- Un **moteur électrique** associé à un **réducteur mécanique** ;
- Un **variateur de vitesse** ;
- Un **module logique programmable** (Zelio SR3101BD) pour le traitement des informations ;



⇒ Compléter la bête à cornes



⇒ Compléter le diagramme des interactions (proposer une description de la fonction de service FS4).

### Les fonctions de service

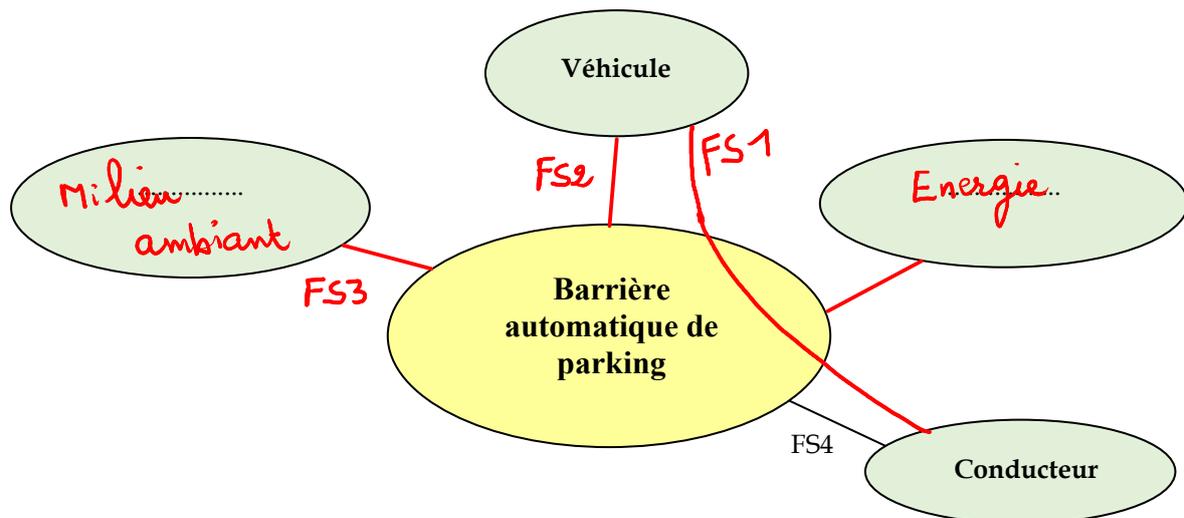
FS1 : Autoriser aux véhicules d'accéder au parking

FS2 : Eviter les collisions entre véhicules

FS3 : Résister aux effets du milieu ambiant

FS4 : *Assurer la sécurité du conducteur*

FS5 : S'adapter à la source d'énergie



⇒ Compléter le tableau de classification des fonctions de service.

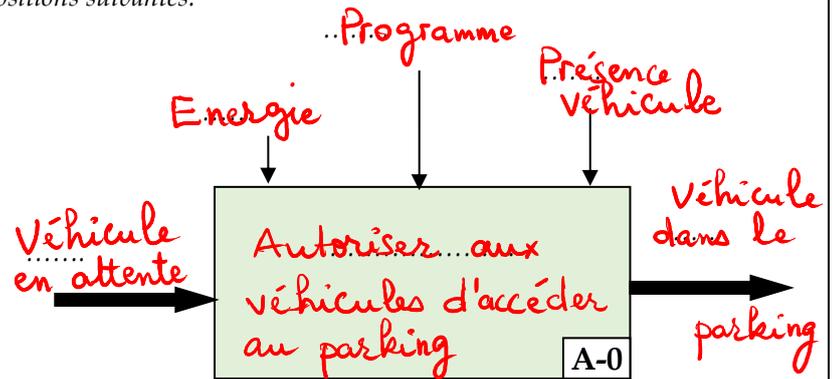
Fonction	Fonction principale ou de contrainte (FP/FC)	Fonction d'usage ou d'estime (FU/FE)
FS1 : Autoriser aux véhicules d'accéder au parking	...FP	...FU
FS2 : Eviter les collisions entre véhicules	...FC	...FU
FS3 : Résister aux effets du milieu ambiant	...FC	...FU
FS4 : <i>Assurer la sécurité du conducteur</i>	...FC	...FU
FS5 : S'adapter à la source d'énergie	...FC	...FU

⇒ Compléter ce tableau de caractérisation des fonctions de service.

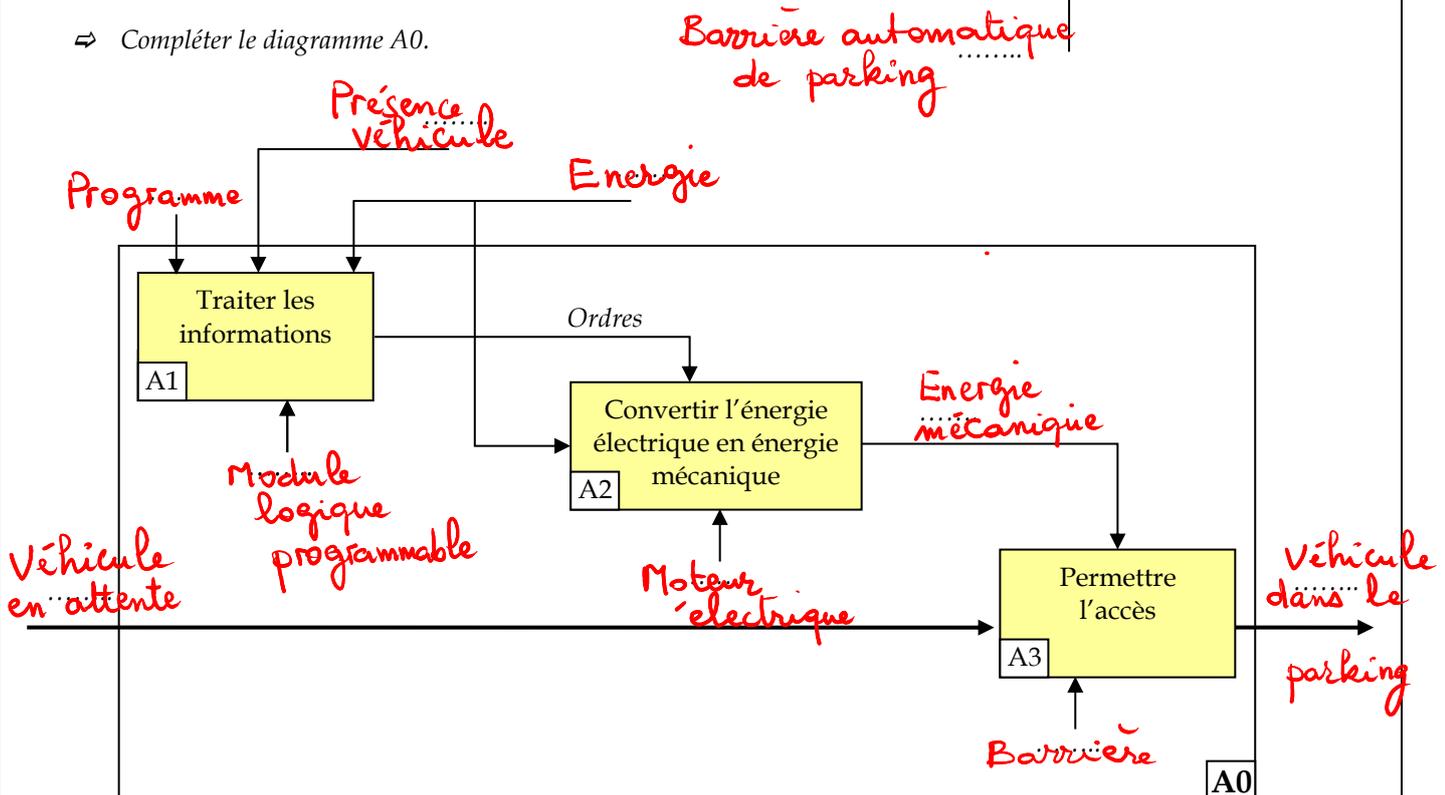
Fonction	Critère d'appréciation	Niveau
FS1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ...<i>Angle</i>... d'ouverture</li> <li>• Temps d'ouverture</li> <li>• ...<i>Temps</i>... de fermeture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 90° maximum</li> <li>• De 2.8 à 4 s</li> <li>• De 2.8 à 4 s</li> </ul>
FS3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température</li> <li>• Corrosion due à l'eau</li> <li>• Corrosion due à l'atmosphère, humidité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De -20 à 50 °C</li> <li>• Aucune au bout de 2 ans</li> <li>• Aucune au bout de 2 ans</li> </ul>
FS5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ...<i>Tension</i></li> <li>• Fréquence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monophasée 230 V</li> <li>• 50 Hz</li> </ul>

⇒ Compléter l'actigramme A-0 par les propositions suivantes.

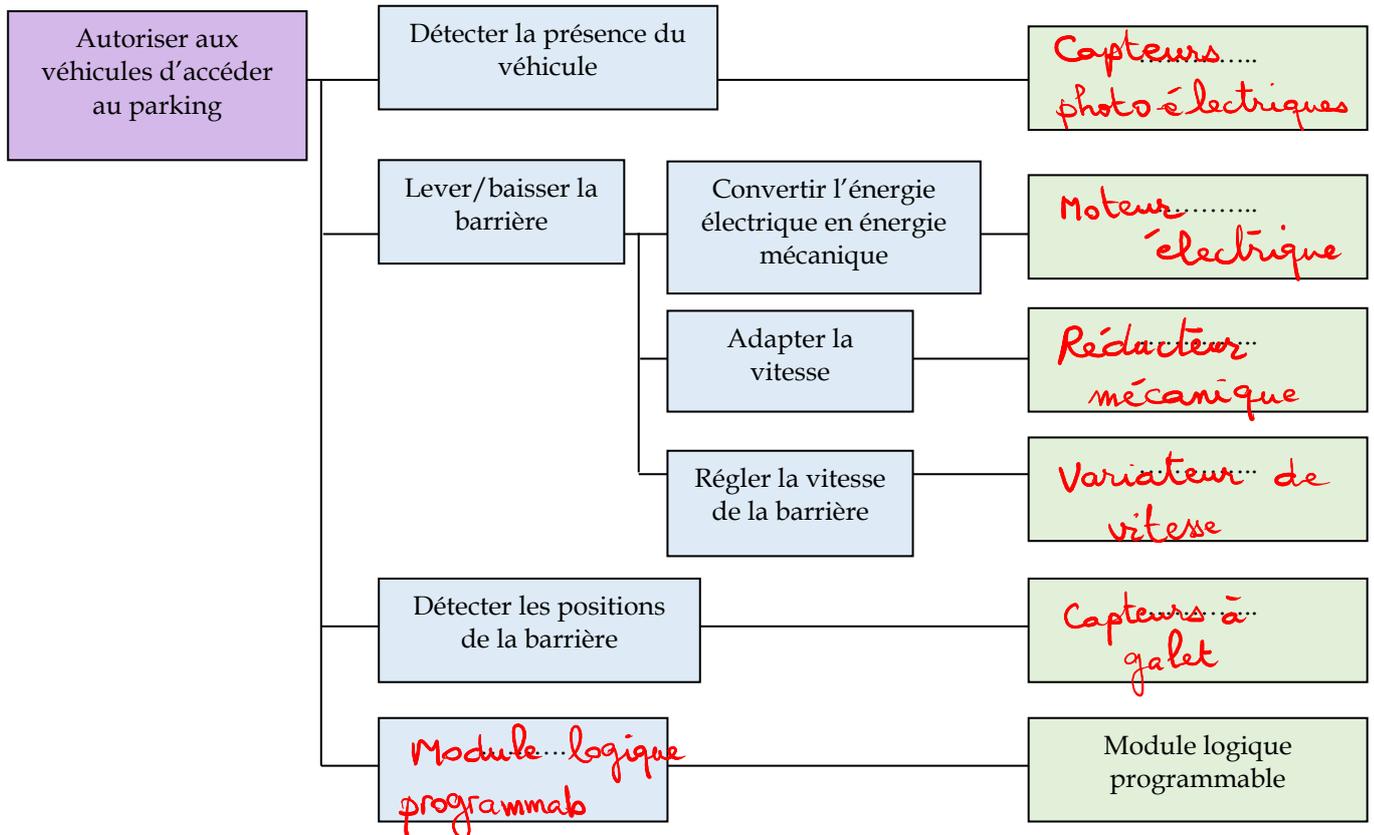
- Présence véhicule
- Véhicule en attente
- Energie
- Barrière automatique de parking
- Programme
- Autoriser aux véhicules d'accéder au parking
- Véhicule dans le parking



⇒ Compléter le diagramme A0.



⇒ Compléter ce FAST.

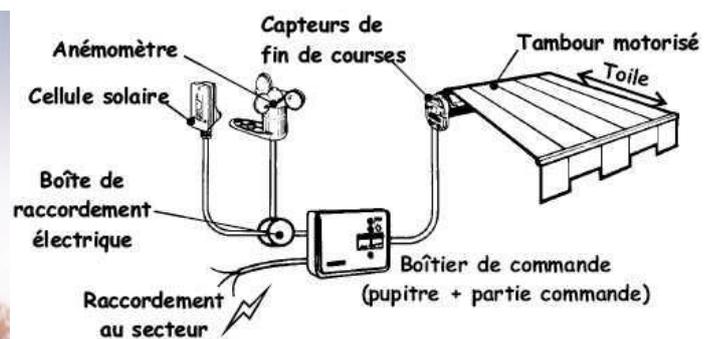


## STORE AUTOMATISE

### Présentation

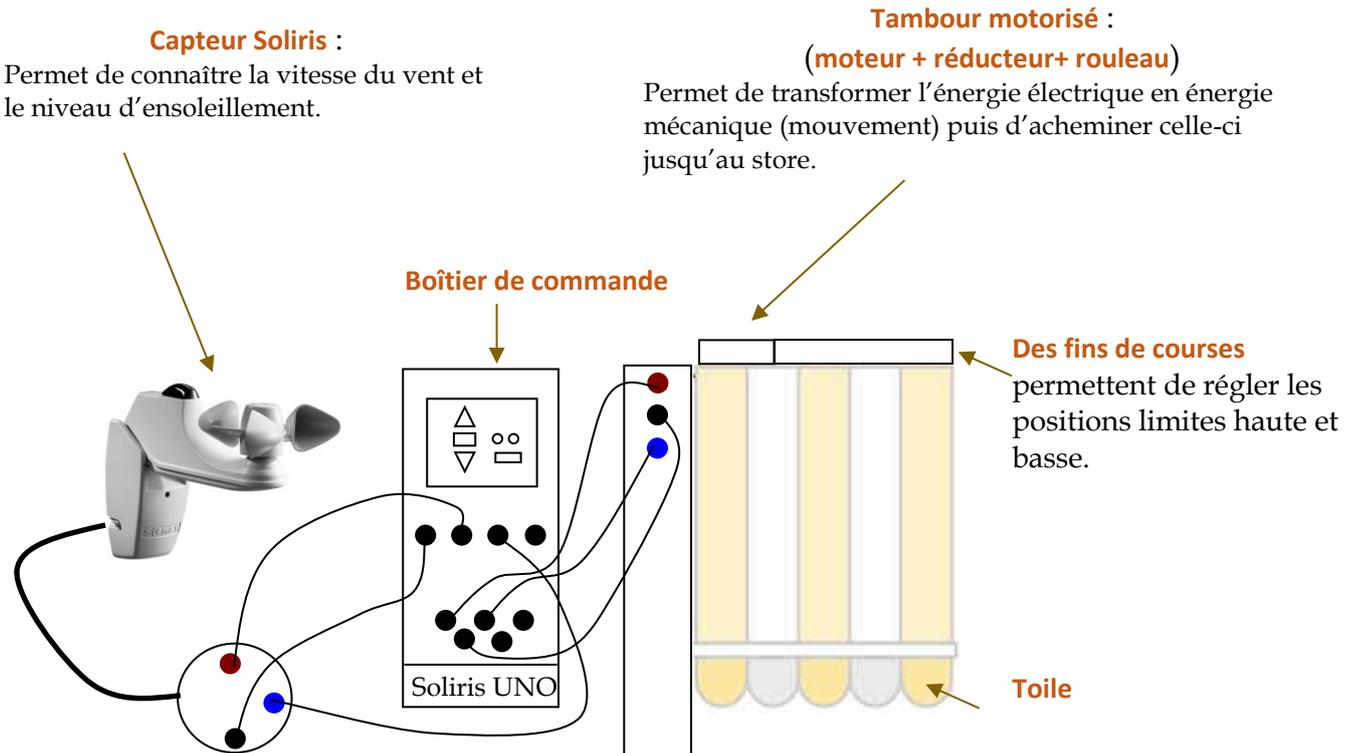
Ces dernières années, une demande du marché grandissante s'est développée concernant les stores de protection solaire (terrasses de cafés, vitrines de magasins, pavillons de particuliers, etc...). Pour une plus grande simplicité d'utilisation, notamment afin d'éviter une commande manuelle fastidieuse, des mécanismes de commande motorisés et des systèmes automatiques de contrôle de stores se sont développés.

Ce besoin du marché est comblé par la mise en marché de différentes gammes de stores automatiques .



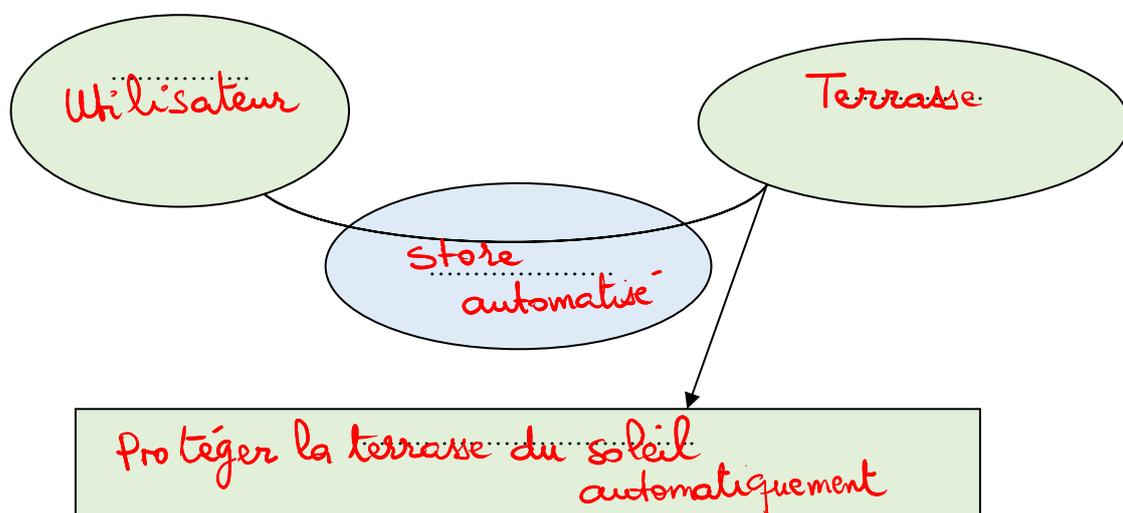
Le système :

- Protège le store contre le vent, selon un seuil réglable ;
- Actionne le store automatiquement en fonction du soleil, selon un seuil réglable ;
- Une fois les consignes fixées, l'automatisme gère complètement la montée et la descente du store, sans l'intervention humaine, en gardant toujours comme priorité la vitesse du vent ;
- Autorise une commande manuelle, par contact ou à distance, de la montée, de la descente, de l'arrêt ;
- Visualise l'état de l'automatisme, par des LED.

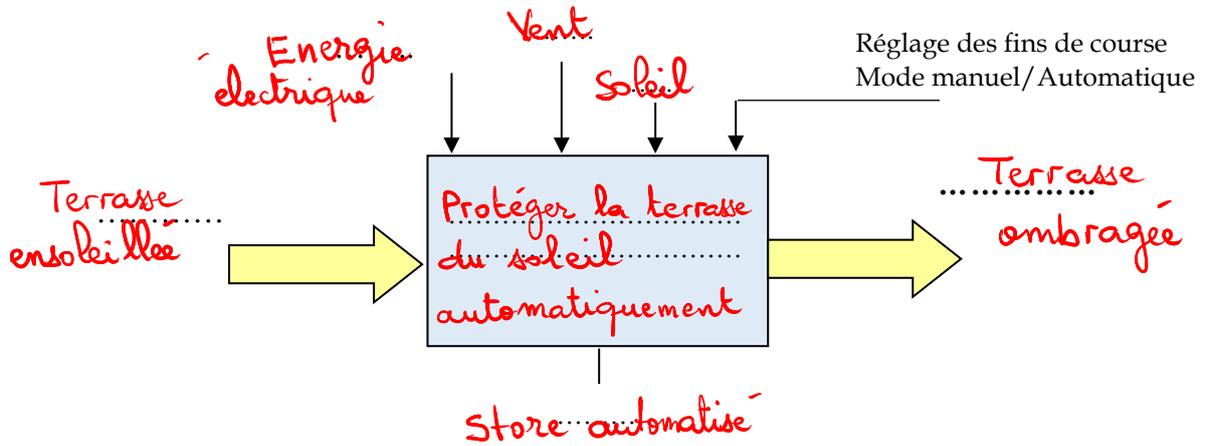


Après avoir mis en marche le système et découvert ses principales fonctionnalités, compléter ses outils d'analyse fonctionnelle.

⇒ Expression du besoin (bête à cornes).



⇒ Diagramme SADT (actigramme A-0).



⇒ Diagramme des interactions (pieuvre).

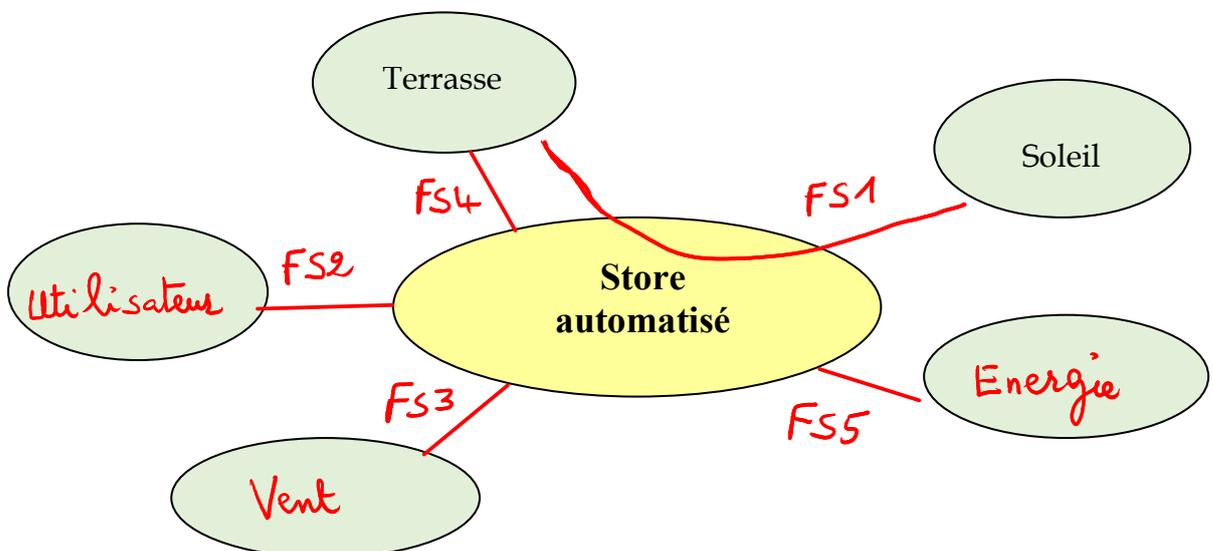
**Les fonctions de service**

- FS1 : Protéger la terrasse du soleil automatiquement
- FS2 : Être configurable facilement par l'utilisateur
- FS3 : Protéger le store du vent automatiquement
- FS4 : Être intégré à la terrasse (esthétique)
- FS5 : S'adapter à la source d'énergie

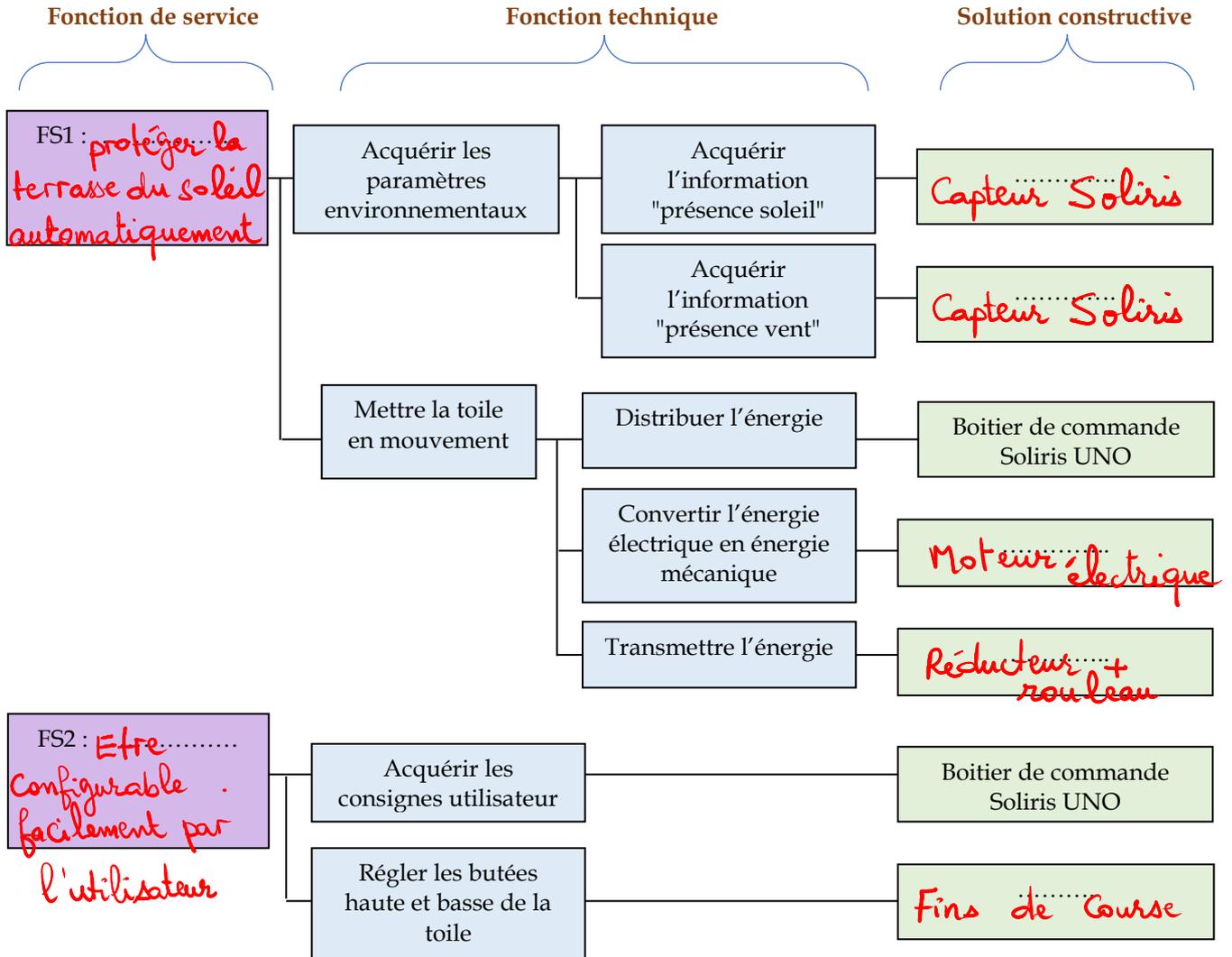
**Fonction FP/FC**

**Fonction FU/FE**

FP	FU
FC	FU
FC	FU
FC	FE
FC	FU



⇒ Diagramme FAST.



## Machine à pain

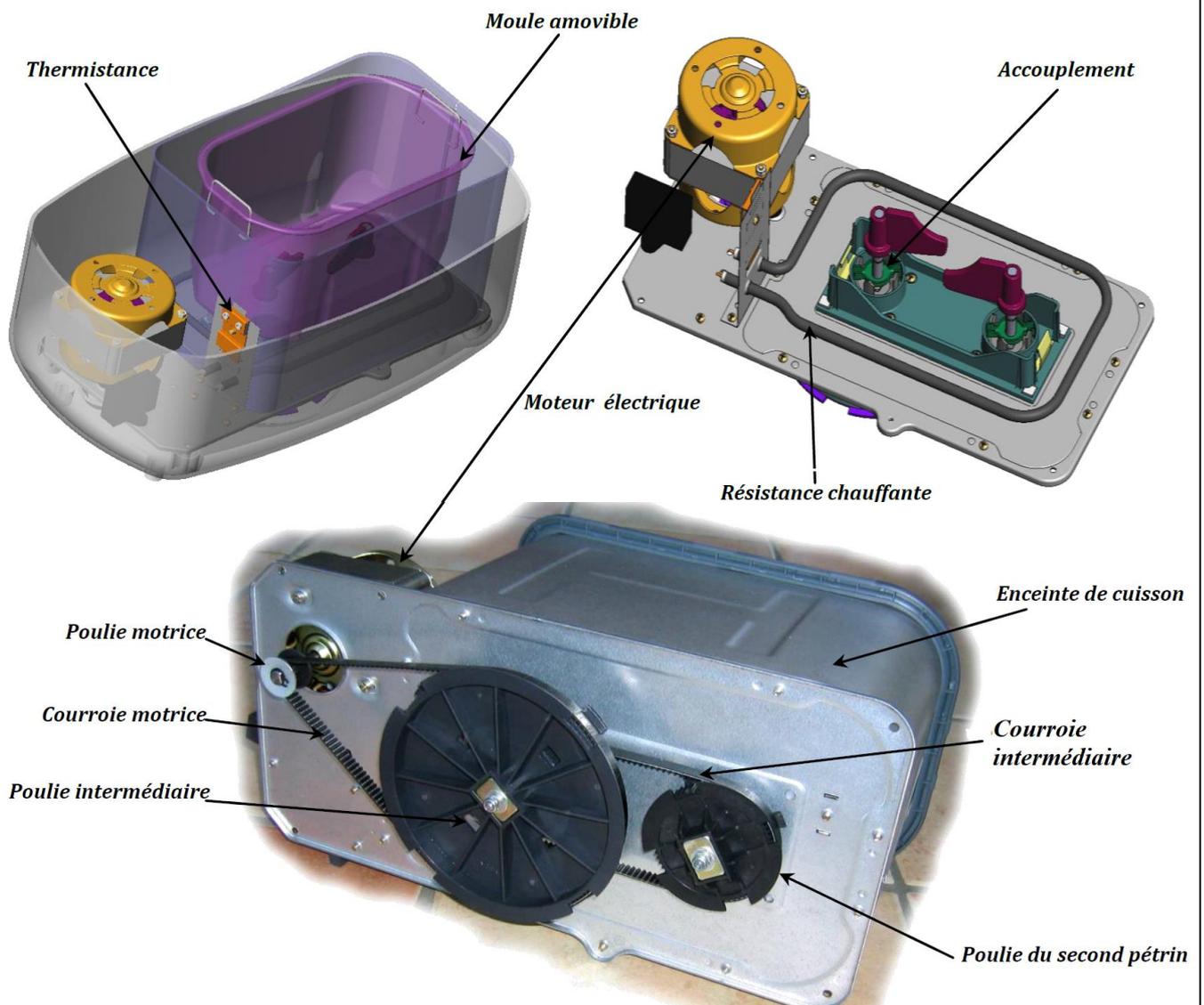
### Présentation

L'utilisateur introduit les ingrédients dans le moule. La machine prend alors en charge toutes les phases de préparation du pain. On relève 7 phases principales :

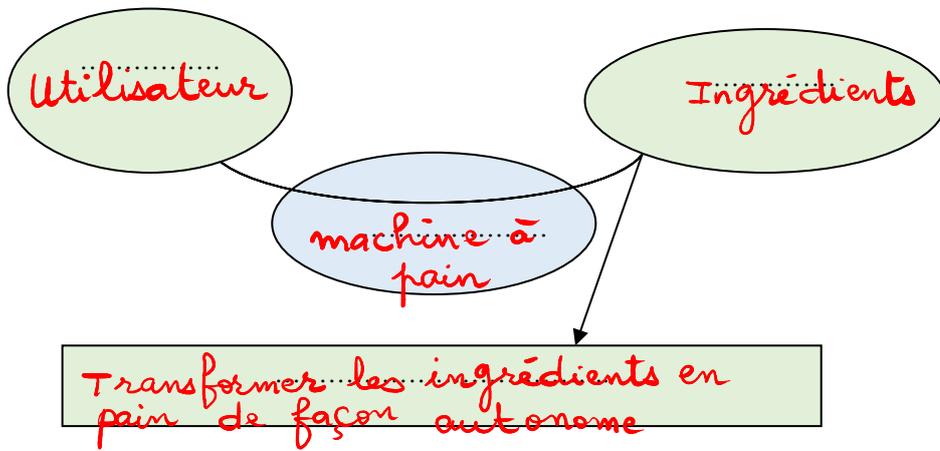


Phase	Préchauffage	Mélange	Pétrissage	1 <sup>er</sup> levée et malaxage	2 <sup>e</sup> levée	Cuisson	Maintien à chaud
Action	Chauffer	Tourner	Tourner	tourner	Chauffer	Chauffer	Chauffer

### Constituants

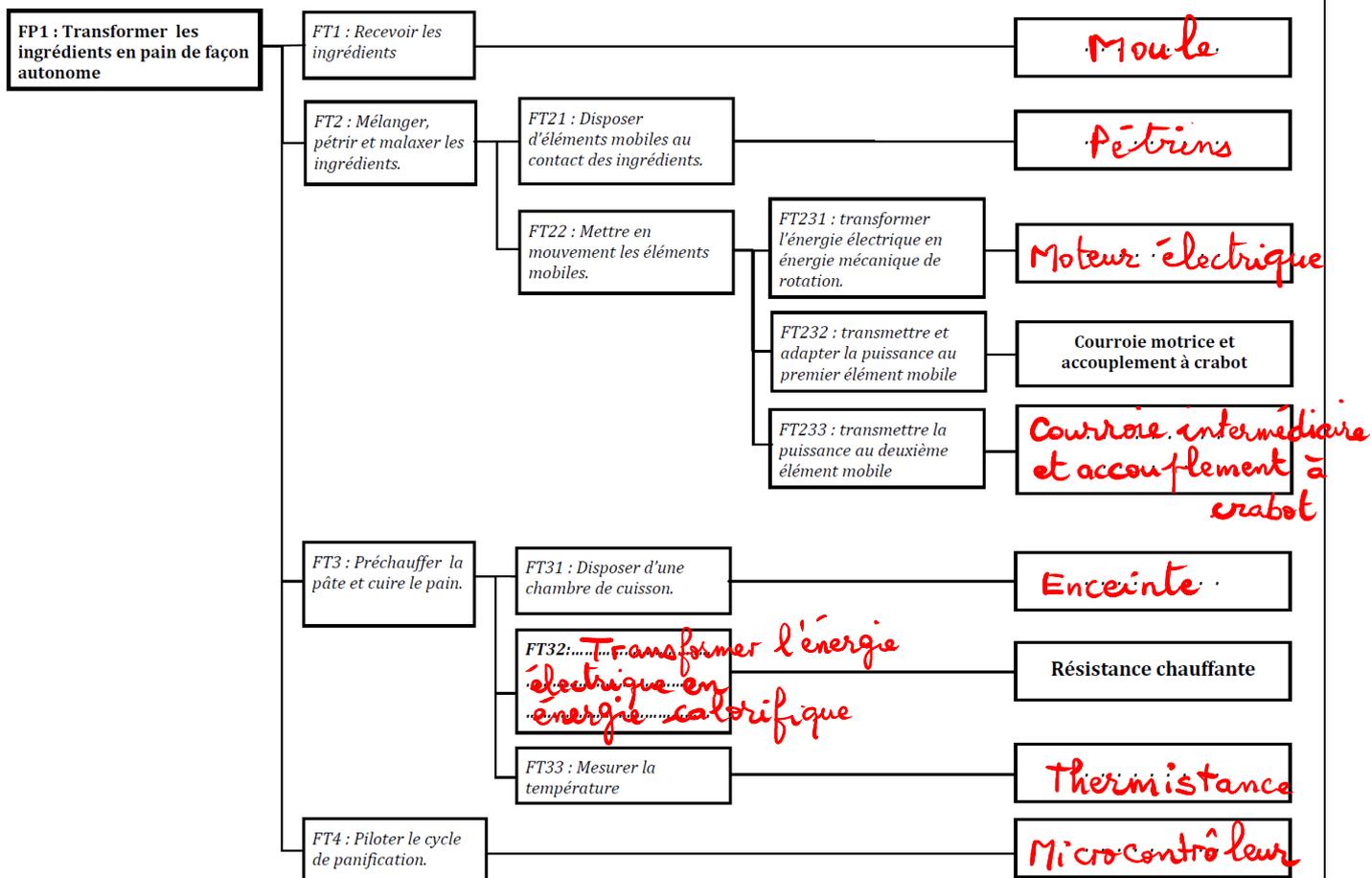


⇒ Énoncer le besoin par le diagramme "bête à cornes".

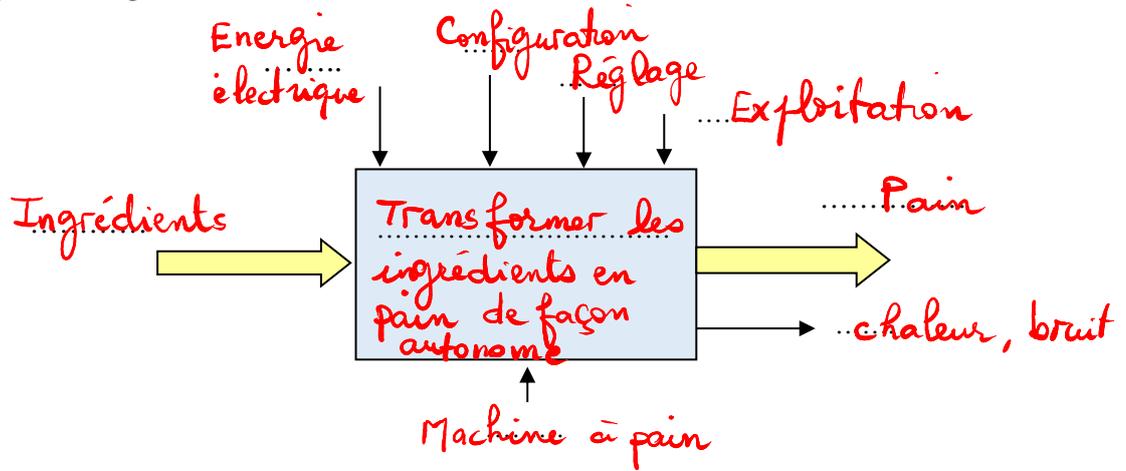


⇒ Compléter le FAST correspondant à la fonction principale FP1.

- 2 pétrins
- Thermistance (capteur de T°)
- Moteur électrique
- Moule amovible
- Transformer l'énergie électrique en énergie calorifique
- Enceinte de cuisson
- Microcontrôleur
- Courroie intermédiaire et accouplement à crabot

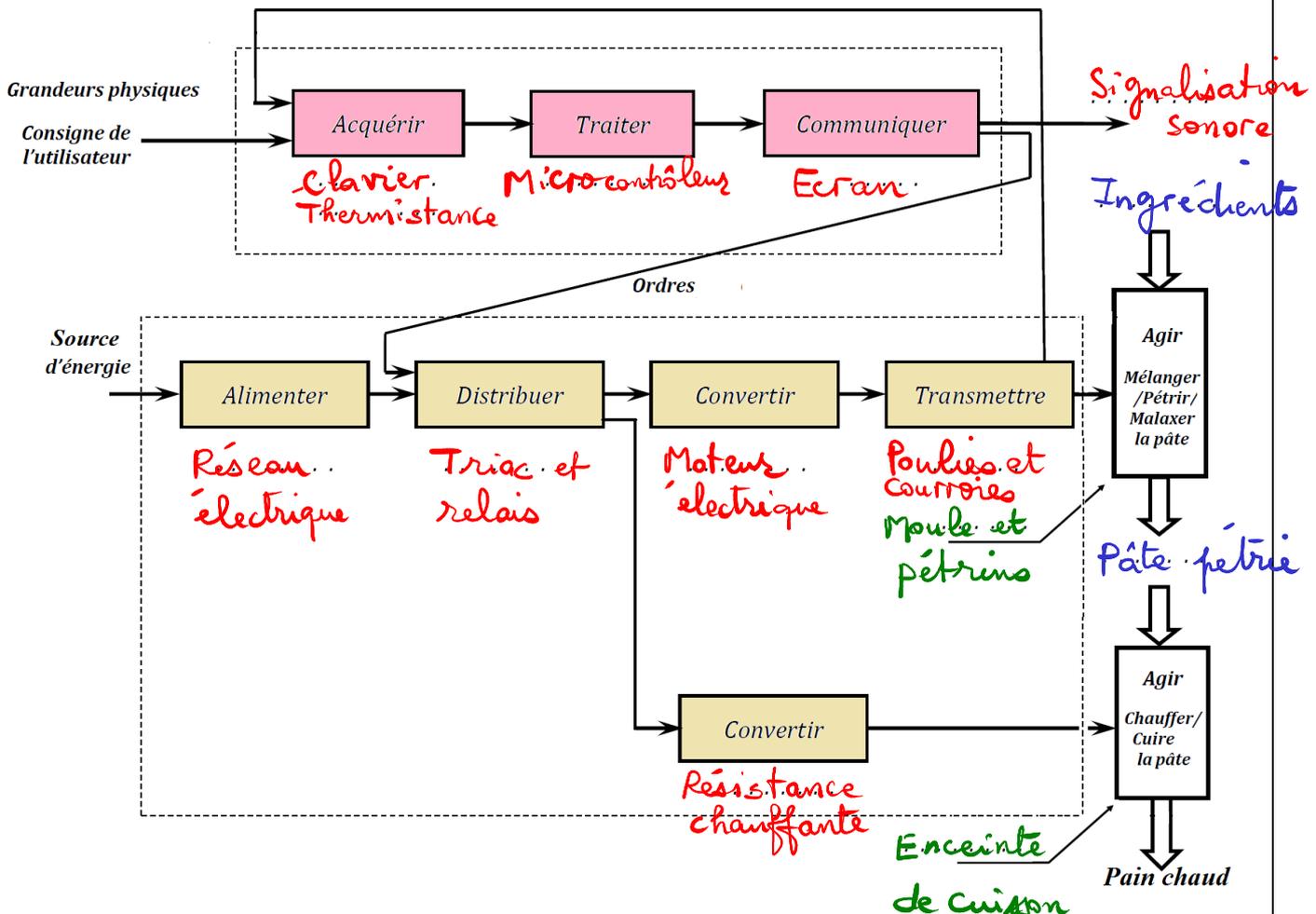


⇒ Compléter l'actigramme A-0.



⇒ Compléter le schéma fonctionnel à partir de la liste suivante :

- |                         |                                 |
|-------------------------|---------------------------------|
| Microcontrôleur         | Réseau d'énergie électrique     |
| Ecran                   | Moteur électrique               |
| Clavier et thermistance | Meule et pétrins (Bol = Moule)  |
| Enceinte de cuisson     | Signalisation sonore            |
| Poulies et courroies    | Résistante chauffante           |
| Ingrédients             | Triac et relais (distributeurs) |
| Pâte pétrie             |                                 |



PARTIE

2

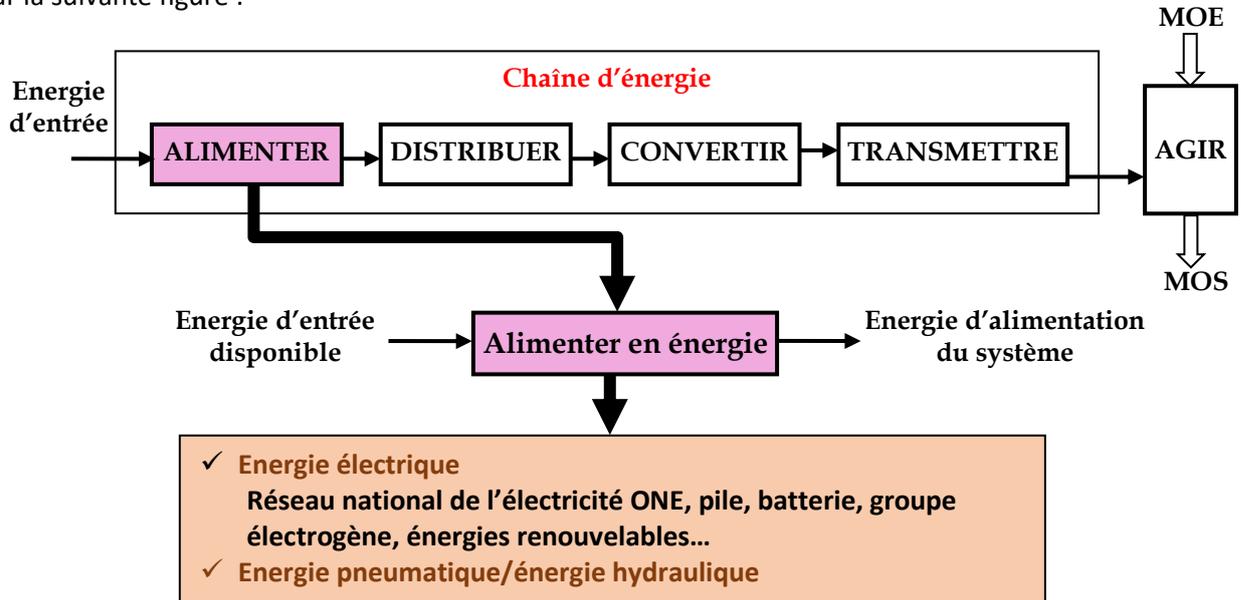
## CHAÎNE D'ÉNERGIE



*La chaîne d'énergie d'une voiture comprend, entre autres, le réservoir de carburant, les injecteurs, le moteur, la boîte de vitesse, le différentiel, l'arbre de transmission, les roues...*

## Fonction Alimenter

La fonction Alimenter en énergie dans la chaîne d'énergie ainsi que sa fonction globale sont représentées par la suivante figure :



La fonction ALIMENTER fournit à l'objet technique l'énergie nécessaire à son fonctionnement. Les principales formes d'énergie dont font appel les systèmes sont : les énergies électrique, pneumatique et hydraulique.

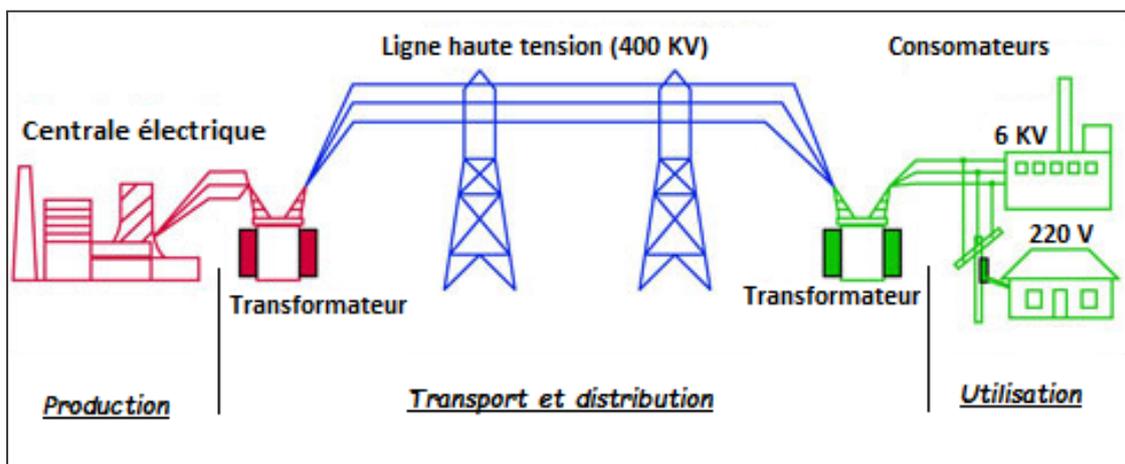
Energie	Nature
Electrique	Différence de potentiel entre 2 fils
Pneumatique	Air sous pression
Hydraulique	Fluide sous pression (l'huile le plus souvent)

## Energie électrique

### Réseau national (ONE et régies de distribution comme RADEES)

L'énergie disponible sur le réseau électrique provient d'usines de production de l'énergie électrique dites **centrales**.

L'énergie produite est acheminée vers les lieux de consommation (utilisation) via les réseaux de transport et le réseau de distribution.



Caractéristiques de l'énergie du réseau :

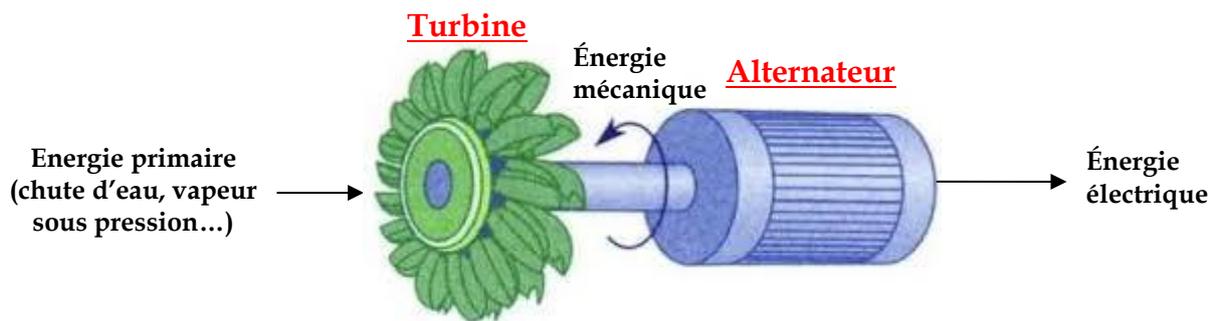
Courant alternatif.

Fréquence 50 Hz.

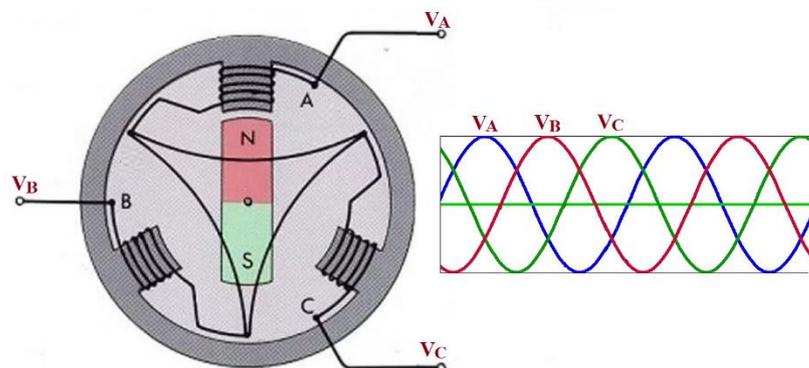
Tensions : 220V/380V (pour les utilisateurs basse tension).

### Centrales de production

L'énergie électrique du réseau national est produite dans des centrales où on trouve essentiellement un **alternateur** entraîné par une **turbine**.



### Principe d'un alternateur triphasé



Un aimant permanent ou un électroaimant alimenté par un courant d'excitation, est en rotation à l'intérieur de trois bobines ; il produit ainsi trois tensions triphasées alternatives  $V_A$ ,  $V_B$  et  $V_C$  décalées de  $120^\circ$  et de fréquence  $f = N \cdot p$

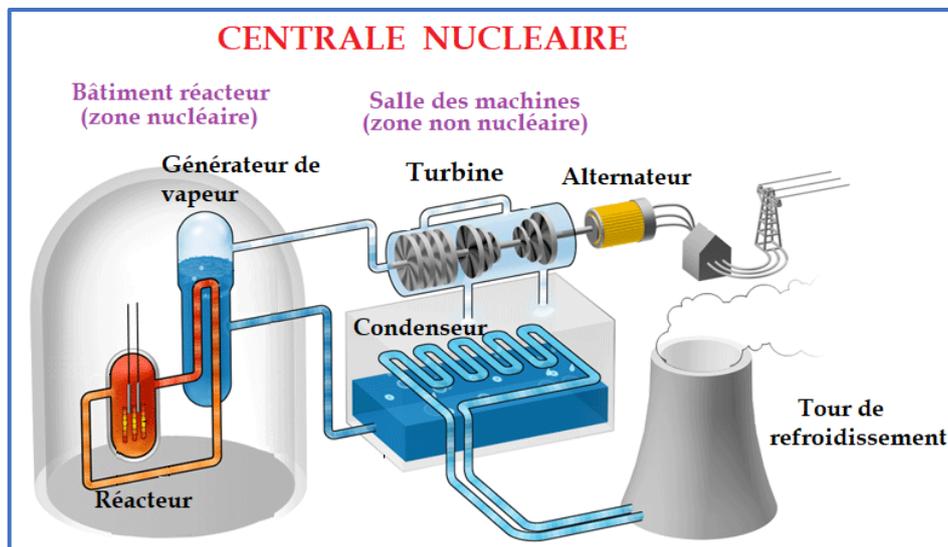
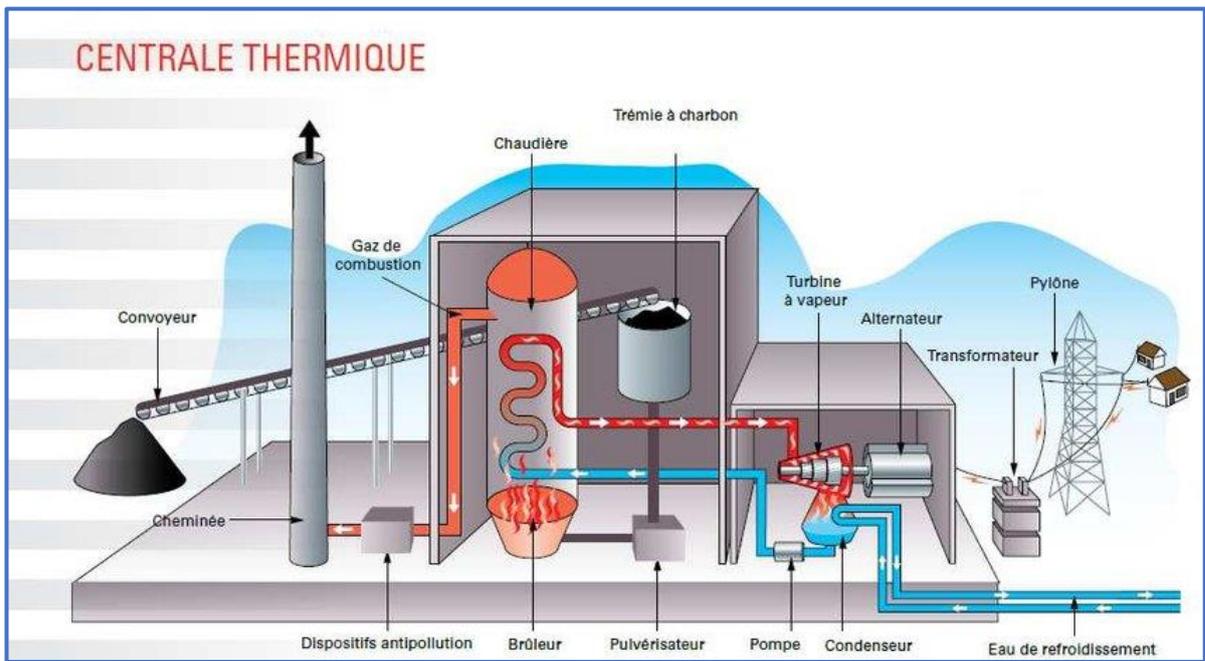
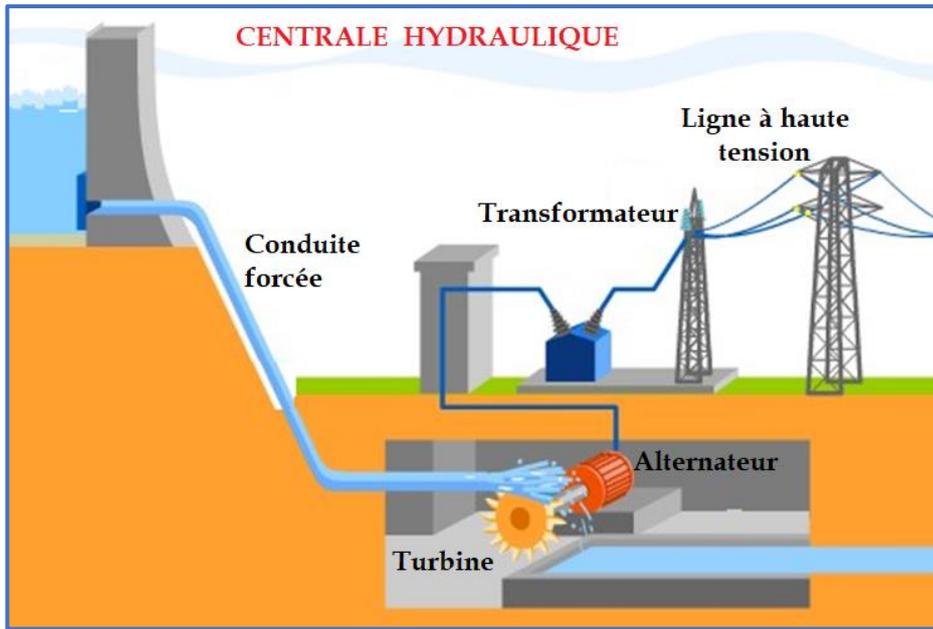
$f$  : fréquence des tensions produites en Hz.

$N$  : vitesse de rotation de l'alternateur en tr/s.

$p$  : nombre de paires de pôles de l'alternateur.

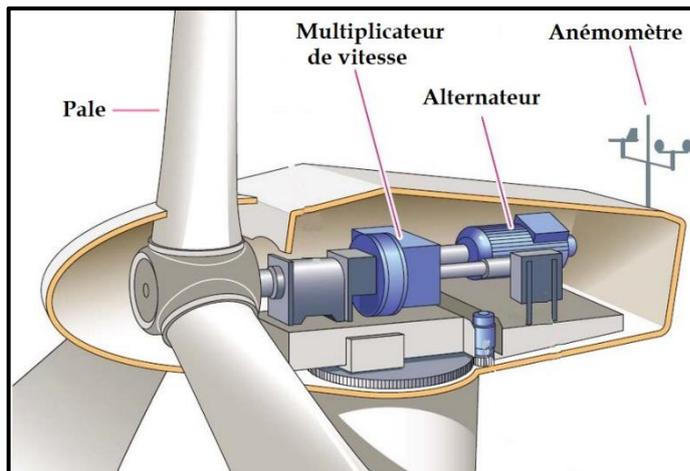
Selon la nature de l'énergie primaire requise par la centrale, on distingue :

- **Centrale hydraulique** : un courant d'eau (barrage, rivière...) entraîne la turbine en rotation ;
- **Centrale thermique** : la chaleur produite par la combustion du charbon, gaz, fuel, pétrole... vaporise l'eau. Cette vapeur, sous pression, entraîne la turbine ;
- **Centrale nucléaire** : c'est une centrale thermique dont la chaleur, nécessaire à la vaporisation de l'eau, est obtenue par la fission de l'Uranium dans un réacteur.



### Sources autonomes

**Panneaux solaires photovoltaïques** : se composent de photopiles qui, excitées par les rayons solaires, produisent de l'électricité (Utilisés pour les sites isolés).



**Eolienne** : un générateur éolien convertit l'énergie cinétique du vent en électricité. Il est constitué principalement d'une hélice à pales qui entraîne un alternateur en rotation par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse.

**Groupe électrogène** : ici, c'est un moteur thermique diesel qui entraîne un alternateur en rotation. Le groupe électrogène est généralement utilisé comme alimentation de secours (hôpitaux, centres informatiques...).



### Piles et batteries

- Une pile est formée par une cellule à deux électrodes baignant dans une solution chimique. Les réactions internes produisent une tension entre les électrodes ;
- Une batterie d'accumulateurs est un assemblage de piles.



La capacité (ou quantité d'électricité) d'une pile ou d'un accumulateur est le nombre d'Ampères que l'accumulateur peut débiter en un temps donné ; soit  $Q = I.t$   
 où **Q** : capacité de la batterie en **Ah** si **t** en **h** ou en **C** (Coulomb) si **t** en **s**  
**I** : courant débité par la batterie en **A**  
**t** : temps d'utilisation de la batterie

Exemple : Un accumulateur de 10 Ah pourra débiter 10 A pendant 1 h, ou 5 A pendant 2 h...

L'énergie stockée (ou réserve énergétique) dans une batterie est :

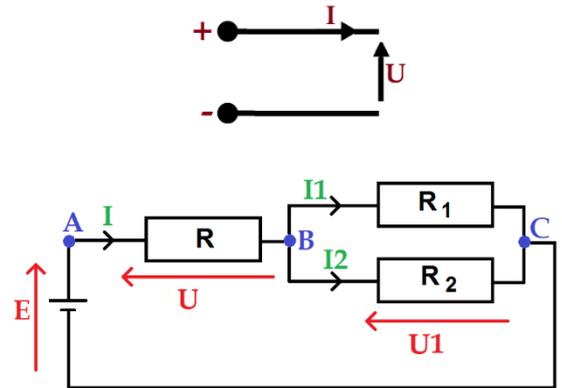
où **W** : énergie stockée en **Wh** si **Q** en **Ah** ou en **J** (Joule) si **Q** en **C**  $W = E.Q$   
**E** : tension aux bornes de la batterie en **V**  $(1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J})$   
**Q** : capacité de la batterie

## Formes de l'énergie électrique

### Courant continu

Puissance  $P = U \cdot I$  (en W)  
 Energie  $W = P \cdot t$  (en kWh si P en kW et t en h  
 en Joule si P en W et t en s)

Loi d'Ohm (appliquée à la résistance R2) :  $U_1 = R_2 \cdot I_2$   
 Loi des nœuds (appliquée au nœud B) :  $I = I_1 + I_2$   
 Loi des mailles (appliquée à la maille ABCA) :  $E - U - U_1 = 0$

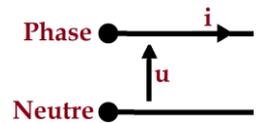


Résistance équivalente :

- Association en parallèle  $\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i}$ , entre les points B et C,  $\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
- Association en série  $R_{eq} = \sum R_i$ , entre les points A et C,  $R_{AC} = R + R_{BC}$

### Courant alternatif monophasé

Puissance  $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$  ( $\cos\varphi$  : facteur de puissance de la charge)  
 Fréquence  $f = \frac{1}{T}$  (en Hz)  
 Pulsation  $\omega = 2\pi f$  (en rad/s)

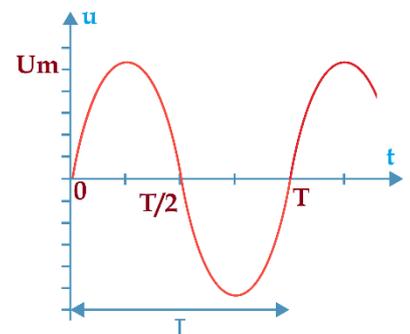


Valeur moyenne  $U_{moy}$  ou  $\langle u \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot dt = \frac{\sum \text{aires}}{T}$

Pour une forme sinusoïdale,  $\langle u \rangle = 0$

Valeur efficace  $U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) \cdot dt} = \sqrt{\langle u^2 \rangle}$

Pour une forme sinusoïdale,  $U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$

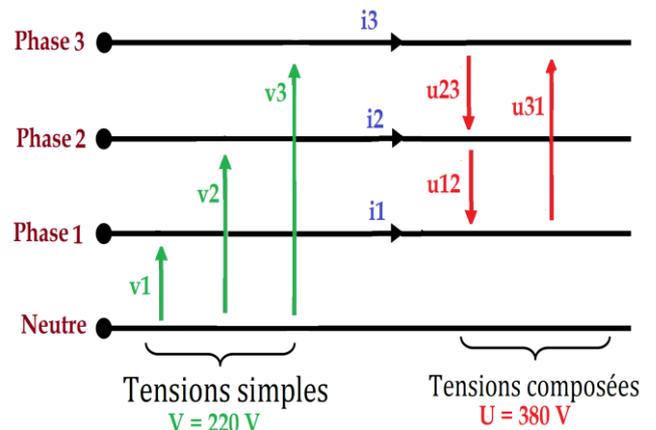


### Courant alternatif triphasé

Puissance  $P = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos\varphi$   
 Tensions simple et composée  $U = \sqrt{3} \cdot V$

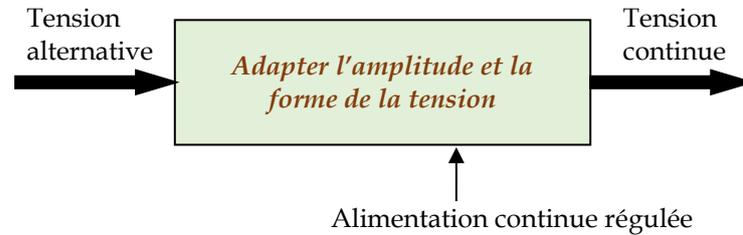
$V = V_1 = V_2 = V_3 =$  tension simple

$U = U_{12} = U_{23} = U_{31} =$  tension composée

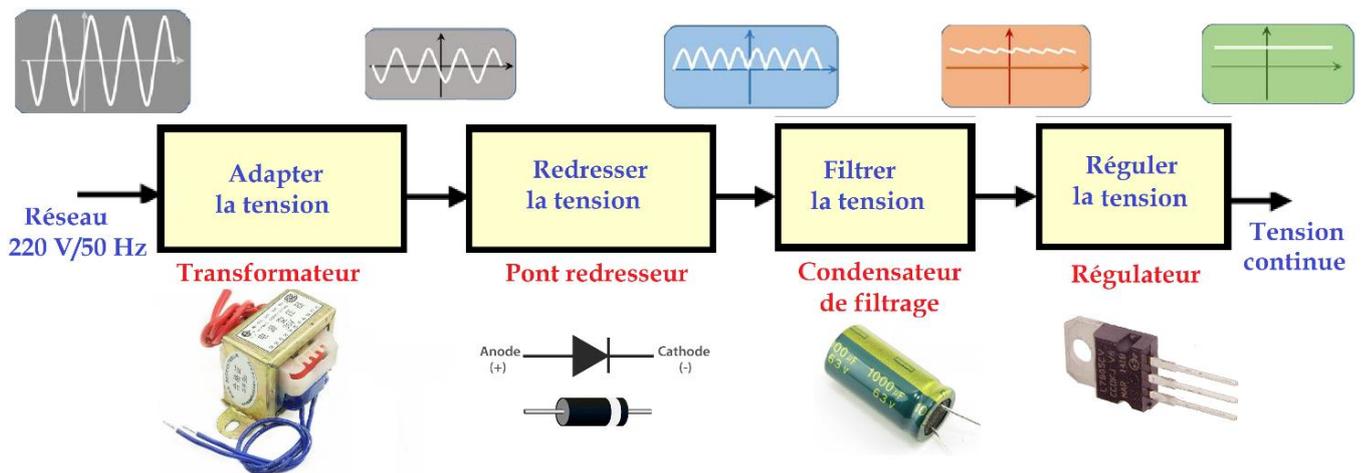


## La fonction Alimenter en DC (courant continu)

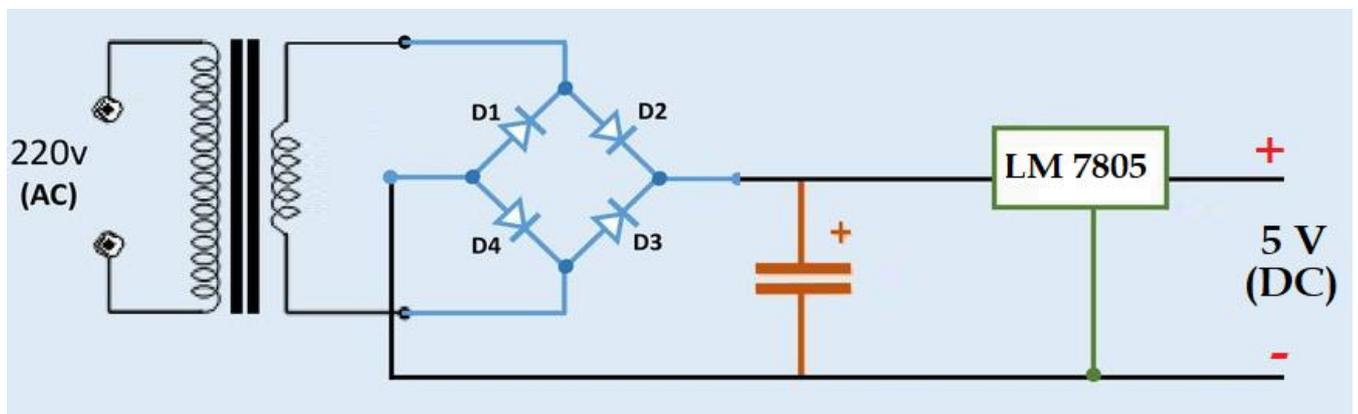
L'énergie électrique distribuée sur le réseau (ONE ou Radees) n'est pas adaptée aux parties d'un système qui fonctionnent en courant continu ; cela requiert de faire une adaptation : modifier l'amplitude et la forme.



## Principe d'une alimentation continue régulée

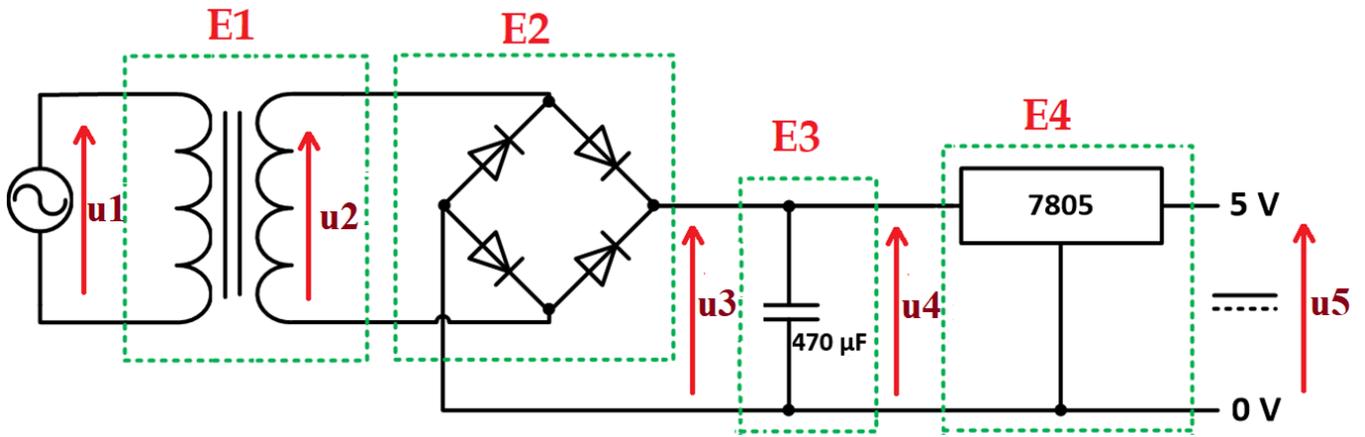


## Exemple de réalisation



Exercices

1. Donner le nom et la fonction de chaque étage ; préciser, ensuite, la forme d'onde des tensions.



Etage	Nom	Fonction
E1	Transformateur	Adapter / abaisser la tension
E2	Redresseur (à pont de Graetz)	Redresser la tension / obtenir une tension unidirectionnelle
E3	Filtre	Filterer / lisser la tension
E4	Régulateur (intégré)	Réguler / stabiliser la tension

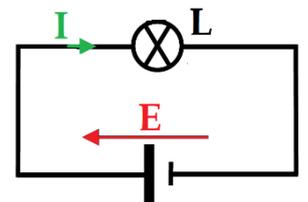
Tension	Forme d'onde
u1	alternative sinusoïdale
u2	" "
u3	Redressée double alternance
u4	continue ondulée
u5	continue

En réalité, u4 impose sa forme à u3 puisque  $u3 = u4$ .  
La forme "redressée" de u3 existerait en cas d'absence du condensateur.

2. Une batterie de fém  $E = 12 \text{ V}$  et de capacité  $Q = 18 \text{ Ah}$  alimente une lampe L.

a. Quelle est l'autonomie de la batterie pour les suivantes valeurs de I :

I	Autonomie (en h)
1 A	$Q = I \cdot t \Rightarrow t = \frac{Q}{I} = \frac{18}{1} = 18 \text{ h}$
3 A	$t = \frac{18}{3} = 6 \text{ h}$
500 mA	$t = \frac{18}{0,5} = 36 \text{ h}$



b. Calculer la réserve énergétique W de la batterie (en J).

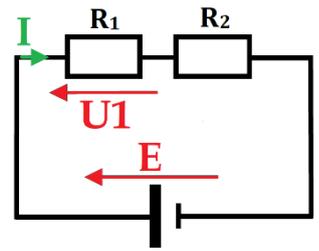
c. Donner la capacité de la batterie en Coulomb.

b/  $W = E \cdot Q = 12 \cdot 18 = 216 \text{ Wh} = 216 \times 3600 \text{ J} = 777600 \text{ J}$

c/  $Q = 18 \text{ Ah} = 18 \times 3600 \text{ C} = 64800 \text{ C}$

3. Soit le montage suivant :

- Exprimer la tension  $E$  en fonction de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $I$ .
- Exprimer la tension  $U_1$  en fonction de  $R_1$  et  $I$ .
- En déduire la tension  $U_1$  en fonction de  $E$ .
- Donner un nom à ce montage ?



a/ Loi d'Ohm et association de résistances  $\rightarrow E = (R_1 + R_2) \cdot I$

b/ Loi d'Ohm  $\rightarrow U_1 = R_1 \cdot I$

c/ D'après ce qui a précédé,  $I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{U_1}{R_1}$

donc  $U_1 = E \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

d/ Diviseur de tension.

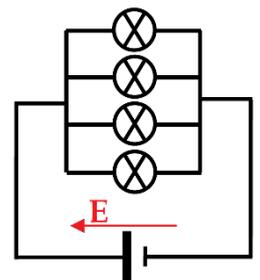
4. La batterie d'une automobile possède les caractéristiques suivantes :

Force électromotrice :  $E = 12 \text{ V}$ .

Capacité :  $Q = 40 \text{ Ah}$ .

Lors d'un stationnement, les quatre feux de position ayant chacun une puissance  $P = 8 \text{ W}$  sont restés allumés pendant une durée  $t = 24 \text{ heures}$ .

- Calculer l'énergie maximale  $W_b$  (en  $\text{Wh}$ ) disponible dans la batterie supposée complètement chargée.
- Calculer l'énergie  $W_L$  (en  $\text{Wh}$ ) nécessaire pour allumer les quatre lampes pendant la durée  $t = 24 \text{ h}$ .
- Le conducteur pourrait-il démarrer normalement à son retour ?
- Calculer la durée  $t_d$  (en  $\text{h}$ ) de décharge de cette batterie dans ces conditions.
- Quelle devrait être la capacité de la batterie  $Q$ , pour que cet incident n'entraîne pas une décharge de plus de  $50\%$  de la batterie ?



a/ L'énergie de la batterie (chargée) est  $W_b = E \cdot Q = 12 \cdot 40 = 480 \text{ Wh}$ .

b/ La puissance totale des lampes est  $P_L = 4 \cdot P = 4 \cdot 8 = 32 \text{ W}$   
l'énergie que nécessitent les lampes est  $W_L = P_L \cdot t = 32 \cdot 24 = 768 \text{ Wh}$

c/ Non, la batterie va se décharger complètement puisque  $W_L > W_b$

d/ La batterie se décharge complètement au moment où les lampes consomment  $480 \text{ Wh}$ ; soit  $W_L = P_L \cdot t_d = 480 \text{ Wh}$

$\Rightarrow t_d = \frac{480}{P_L} = \frac{480}{32} = 15 \text{ h}$

e/ Pour avoir seulement une décharge de  $50\%$  de la batterie, il faut

$W_L = 50\% \cdot W_b \Rightarrow W_b = \frac{W_L}{0,5} = \frac{768}{0,5} = 1536 \text{ Wh}$

$W_b = Q \cdot E \Rightarrow Q = \frac{W_b}{E} = \frac{1536}{12} = 128 \text{ Ah}$

5. Un poste de télévision est utilisé 3 h par jour et consomme **100 W**. Le reste du temps, il est en "stand-by" et consomme **7 W**.
- Quelle énergie consomme-t-il en un mois ?
  - Quel est le coût de cette consommation si **1 kWh** est facturé par **1,1 dh** ?

a/ En un mois (supposé à 30 jours), le téléviseur consomme  
 $W = 30(100 \times 3 + 7 \times 21) = 13410 \text{ Wh} = 13,41 \text{ kWh}$

b/ Coût =  $13,41 \times 1,1 = 14,75 \text{ dh}$ .

6. Pour le signal sinusoïdal ci-contre, compléter :

$$U_{\max} = 3,2 \times 0,5 = 1,6 \text{ V}$$

$$U_{\text{eff}} = U_{\max} / \sqrt{2} = 1,6 / \sqrt{2} = 1,13 \text{ V}$$

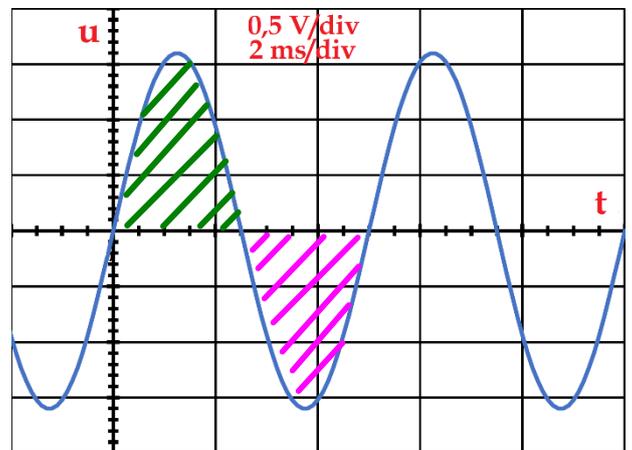
$$U_{\text{moy}} = 0 \text{ V (aires égales)}$$

$$T = 2,5 \times 2 = 5 \text{ ms}$$

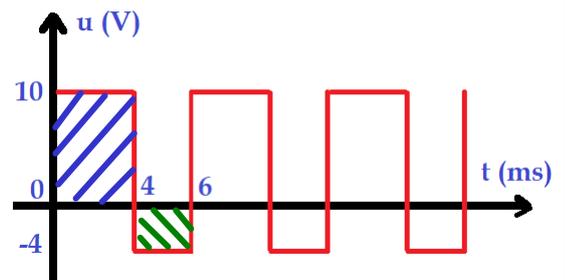
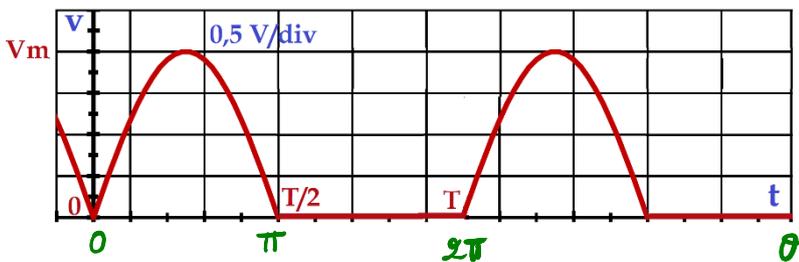
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f = 400\pi \text{ rad/s}$$

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi) = 1,6 \sin(400\pi t)$$



7. Calculer la valeur moyenne et la valeur efficace des signaux suivants :



$v(t)$  est une tension redressée mono alternance.

$$* V_{\text{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v(\theta) \cdot d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \cdot \sin\theta \cdot d\theta = -\frac{V_m}{2\pi} [\cos\theta]_0^{\pi}$$

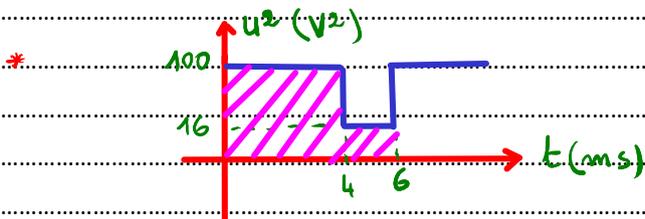
$$V_{\text{moy}} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{2}{\pi} = 0,637 \text{ V}$$

$$* V_{\text{eff}}^2 = \langle v^2(t) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v^2(\theta) \cdot d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m^2 \cdot \sin^2\theta \cdot d\theta$$

$$= \frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos(2\theta)}{2} \cdot d\theta = \frac{V_m^2}{4\pi} \left[ \theta - \frac{\sin(2\theta)}{2} \right]_0^{\pi} = \frac{V_m^2}{4\pi} \times \pi = \frac{V_m^2}{4}$$

donc  $V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ V}$

$$* U_{\text{moy}} = \frac{\sum A_{\text{aires}}}{T} = \frac{10 \times 4 - 4 \times 2}{6} = \frac{32}{6} = \frac{16}{3} = 5,33 \text{ V}$$



$$U_{\text{eff}}^2 = \langle u^2(t) \rangle = \frac{\sum A_{\text{aires}}}{T} = \frac{100 \times 4 + 16 \times 2}{6} = \frac{432}{6} = 72 \text{ V}^2$$

$$\text{donc } U_{\text{eff}} = \sqrt{72} = 8,48 \text{ V}$$

### 8. Transpalette électrique (extrait d'un sujet national)

#### Etude de l'autonomie du transpalette

On se propose d'étudier le bilan énergétique d'un transpalette (chariot qui sert à déplacer des palettes) et d'en déduire s'il est nécessaire de changer la batterie de **24 V – 450 Ah**.

Transpalette



Palette



- a. Calculer l'énergie  $W_b$  en (Wh) disponible de la batterie.

$$W_b = E \cdot Q = 24 \times 450 = 10\,800 \text{ Wh}$$

- b. Le document **D.Res 1** représente l'évolution de la vitesse linéaire du transpalette au cours d'un cycle standard (cycle de chargement d'une seule palette dans un camion).

On suppose que :

- Pendant le temps  $t_3$  le transpalette parcourt une distance de 100 m et la puissance du moteur de traction est de **3 kW**.
- Pendant le temps  $t_8$  le transpalette parcourt une distance de 100 m et la puissance du moteur de traction est de **1 kW**.

- Compléter le tableau relatif à un cycle standard (Utiliser **D.Res 1**).

On relève  $t$  et on calcule  $W = P \cdot t$ . Par ex,  $W_3 = P_3 \cdot t_3 = 3000 \times \frac{36}{3600} = 30 \text{ Wh}$

$t_1 = 3 \text{ s}$	$t_2 = 6,2 \text{ s}$	$t_3 = 36 \text{ s}$	$t_4 = 1,6 \text{ s}$	$t_5 = 1,9 \text{ s}$	$t_6 = 2,1 \text{ s}$	$t_7 = 4,6 \text{ s}$	$t_8 = 28 \text{ s}$	$t_9 = 2,6 \text{ s}$
$W_1 = 1,91 \text{ Wh}$	$W_2 = 5,16 \text{ Wh}$	$W_3 = 30 \text{ Wh}$		$W_5 = 0,05 \text{ Wh}$	$W_6 = 0,05 \text{ Wh}$	$W_7 = 2,5 \text{ Wh}$	$W_8 = 7,78 \text{ Wh}$	

- En déduire le temps global  $t_c$  pour que le transpalette réalise un cycle standard.

$$t_c = \sum_{i=1}^9 t_i = 86 \text{ s}$$

- En déduire l'énergie électrique totale  $W_c$  fournie par la batterie pour réaliser un cycle standard.

$$W_c = \sum_{i=1}^9 W_i = 47,45 \text{ Wh}$$

Le schéma simplifié du circuit qui alimente le moteur de traction du transpalette à partir de la batterie est représenté sur le document **D.Res 2**.

- c. Quelle est la nature de la conversion d'énergie (alternative/continue ( $\sim/-$ ) ou continue/alternative ( $-/\sim$ )).

Conversion  $-/\sim$  (onduleur)

- d. On suppose que le transpalette consomme une quantité d'énergie  $W_c = 46,5 \text{ Wh}$  pendant **90 s** au cours d'un cycle standard. Calculer le nombre  $n$  de cycles qu'autorise la batterie (jusqu'à la décharge complète). En déduire l'autonomie  $t_u$  (en h) de la batterie (temps d'utilisation jusqu'à la décharge complète).

\*  $W_b$  : énergie de la batterie complètement chargée

$W_c$  : " consommée pendant un cycle

Le nombre de cycles que permet la batterie est  $n = \frac{W_b}{W_c} = \frac{10800}{46,5}$

$$n = 232,26 \text{ cycles}$$

\* Cela correspond à une durée  $t_u = n \times 90 = 232,26 \times 90 = 20903,4 \text{ s}$

$$\text{soit } t_u = 5,8 \text{ h}$$

e. La charge de la remorque d'un camion nécessite **vingt palettes**. Calculer le nombre  $n_c$  de camions que le transpalette peut remplir jusqu'à la décharge de la batterie.

*La charge d'un camion nécessite 20 palettes donc 20 cycles.*

*Le nombre de camions toléré par la batterie est  $n_c = \frac{n}{20}$*

*$n_c = \frac{232,26}{20} = 11,6$  camions*

f. Calculer la capacité  $C$  (en Ah) de la batterie permettant d'assurer la charge d'un nombre  $n'c = 14$  de camions. Faut-il alors remplacer la batterie ; justifier.

*Pour charger  $n'c = 14$  camions, il faut accomplir*

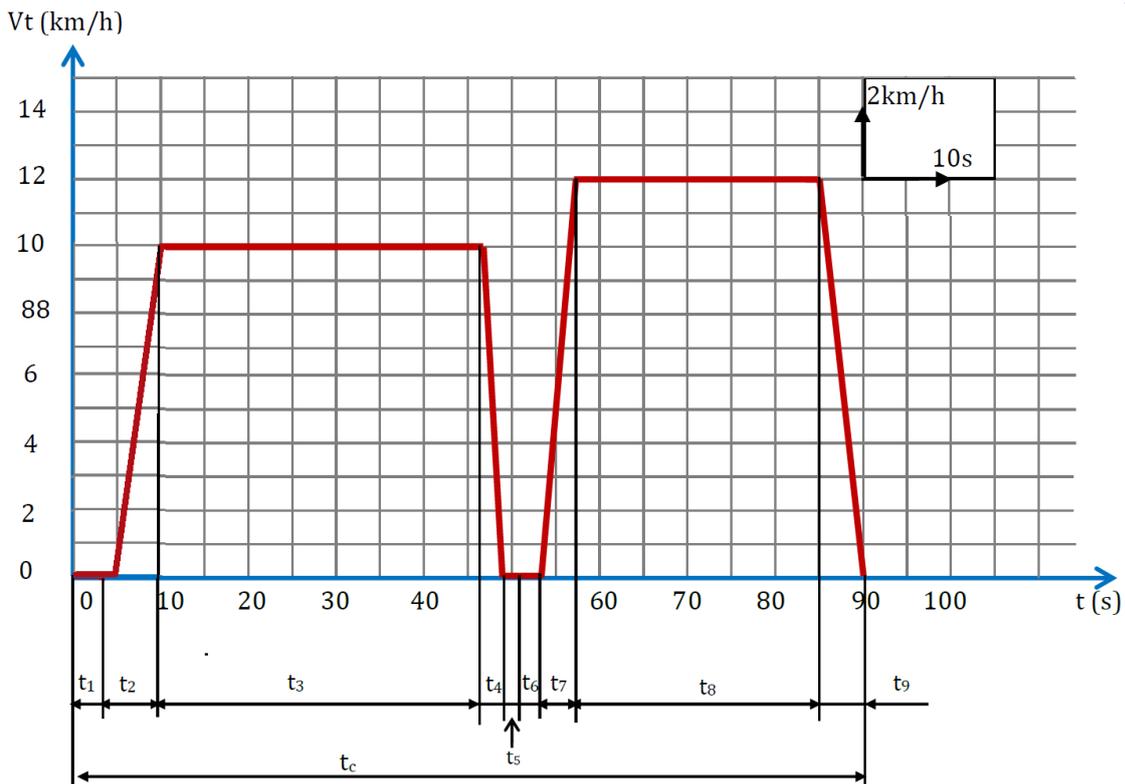
*$n' = 20 \cdot n'c = 20 \times 14 = 280$  cycles.*

*Il faut donc une batterie ayant une énergie  $W'_b = n' \cdot W_c = 280 \cdot 46,5 = 13020$  cycles et une capacité  $C' = \frac{W'_b}{E} = \frac{13020}{24} = 542,5$  Ah*

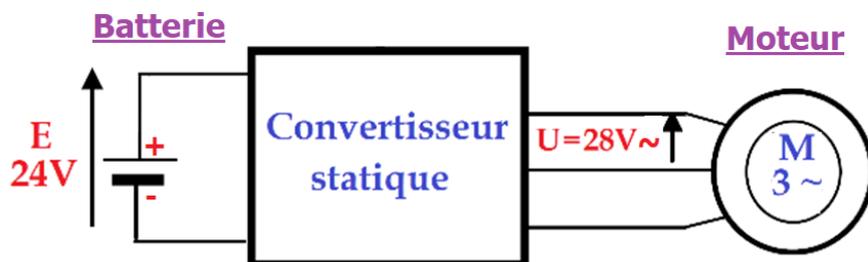
*Il faut remplacer la batterie car  $C' > C$  (ou car  $n'c > n_c$ )*

*Ce résultat peut être obtenu directement par la règle de 3 puisque la relation entre  $n_c$  et  $C$  est linéaire.*

**D.Res 1 : Courbe de la vitesse de la roue motrice au cours d'un cycle standard**



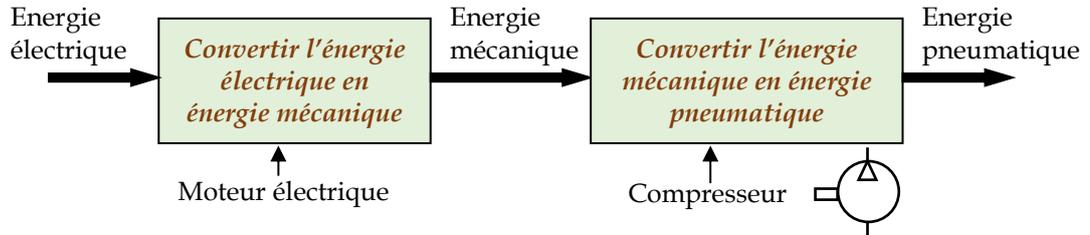
**D.Res 2 : Schéma simplifié du circuit d'alimentation du moteur de traction**



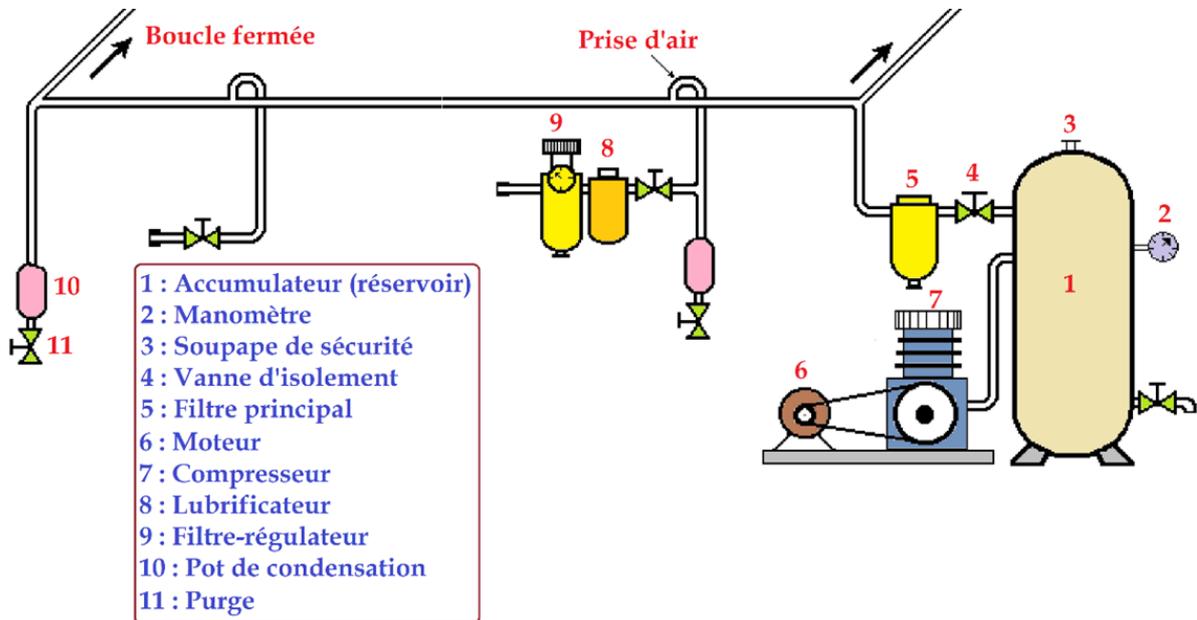
## Energie pneumatique et hydraulique

### Alimentation pneumatique

L'énergie pneumatique résulte de la compression de l'air et sa distribution à travers des canalisations. Elle est assurée par un compresseur animé par un moteur électrique. La pression est de l'ordre de quelques bars.



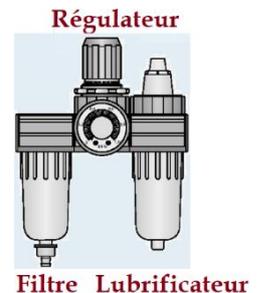
### Installation pneumatique



### Groupe de conditionnement

Le groupe de conditionnement d'air est composé de trois modules principaux : un filtre, un régulateur et un lubrificateur.

Composant	Filtre	Régulateur de pression	Lubrificateur (Huileur)
Symbole			
Fonction	<b>Filtrer</b> (Assécher l'air et éliminer les impuretés)	<b>Adapter la pression</b> (Régler et réguler la pression de l'air)	<b>Lubrifier</b> (Eviter la corrosion et améliorer le glissement)

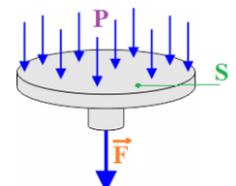


### Grandeurs pneumatiques

La force mécanique F produite par l'énergie pneumatique est liée à la pression p par la relation :

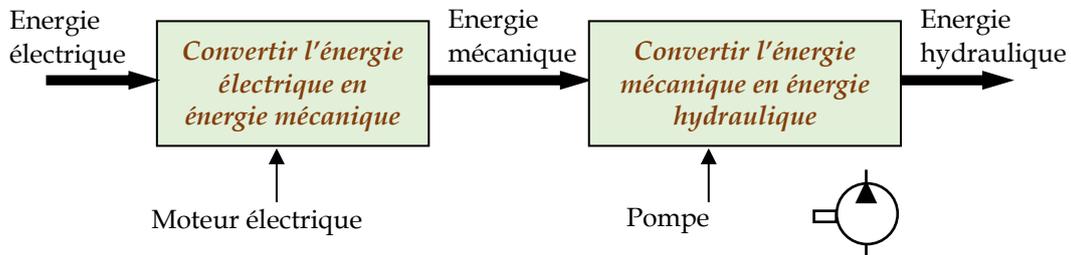
$$F = p \cdot S \quad (F \text{ en N, } p \text{ en Pascal (Pa) et } S : \text{ surface en m}^2)$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ daN/cm}^2$$



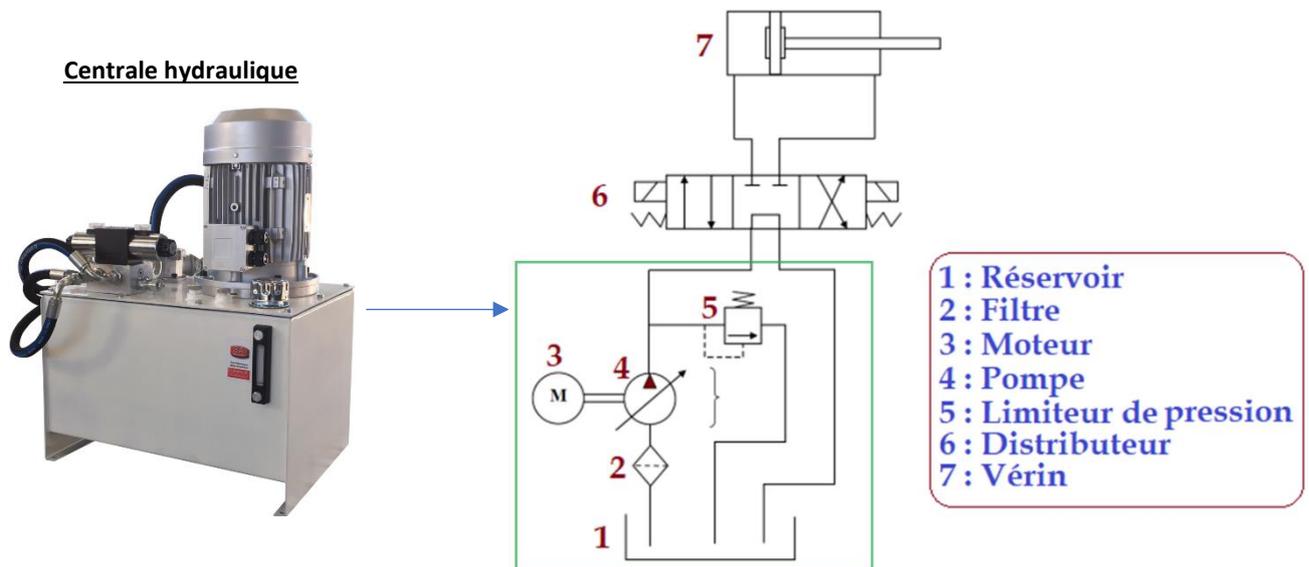
## Alimentation hydraulique

L'énergie hydraulique utilise l'huile sous pression. Elle est assurée par une pompe animée par un moteur électrique. La pression peut atteindre quelques centaines de bars.



## Installation hydraulique

Les composants d'une installation hydraulique sont pratiquement les mêmes qu'installation pneumatique.



## Grandeurs hydrauliques

$$F = p \cdot S \quad (F : \text{force développée en N, } p : \text{pression en Pa et } S : \text{surface en m}^2)$$

$$Q_v = V \cdot S \quad (Q_v : \text{débit volumique en m}^3/\text{s, } V : \text{vitesse du fluide en m/s et } S : \text{section d'écoulement en m}^2)$$

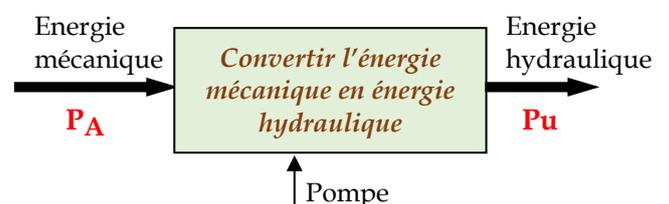
### Pour une pompe hydraulique

- La puissance fournie par la pompe :  $P_h = p \cdot Q_v$  ( $p$  : pression en Pa et  $Q_v$  : débit volumique en  $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- La cylindrée  $C_y$  est le volume de fluide déplacée par tour de l'axe de la pompe ; elle est telle que :

$$Q_v = C_y \cdot N \quad (Q_v : \text{débit volumique en m}^3/\text{s, } C_y : \text{cylindrée en m}^3/\text{tr et } N : \text{vitesse de rotation de la pompe en tr/s})$$

- Le rendement  $\eta$  est le rapport de la puissance

$$\text{utile } P_u \text{ par la puissance absorbée } P_A ; \quad \eta = \frac{P_u}{P_A}$$



## Exercices

1. Une presse à injecter est reliée à une pompe hydraulique qui alimente un vérin de caractéristiques :

Section du piston  $S = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ , pression nominale  $p = 70 \text{ bar}$ , débit volumique  $Q_v = 0,15 \text{ l/s}$

- Calculer la vitesse de déplacement  $V$  (en  $\text{m/s}$ ) du piston.
- Calculer la valeur de la force  $F$  (en  $\text{N}$ ) de poussée du vérin.
- Calculer la puissance hydraulique  $P_h$  (en  $\text{W}$ ) fournie par le vérin.

2. Un vérin hydraulique a pour caractéristiques :

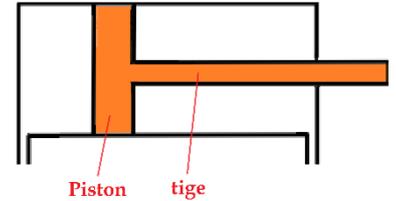
Course :  $560 \text{ mm}$  ;

Temps de sortie :  $3,6 \text{ s}$  ;

Diamètre du piston :  $100 \text{ mm}$  ;

Pression hydraulique :  $300 \text{ bar}$

- Calculer la vitesse moyenne  $V$  de sortie du vérin.
- Calculer la section  $S$  du piston.
- Calculer le débit moyen  $Q_v$  de l'huile pendant la sortie de la tige.
- Calculer la puissance hydraulique  $P_h$  nécessaire.



$$1/ a/ V = \frac{Q_v}{S} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,03 \text{ m/s}$$

$$b/ F = p \cdot S = 70 \times 10^5 \cdot 5 \times 10^{-3} = 35000 \text{ N}$$

$$c/ P_h = p \cdot Q_v = 70 \times 10^5 \times 0,15 \times 10^{-3} = 1050 \text{ W}$$

$$2/ a/ V = \frac{d}{t} = \frac{0,56}{3,6} = 0,155 \text{ m/s}$$

$$b/ S = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{0,1^2}{4} = 78,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 78,54 \text{ cm}^2$$

$$c/ Q_v = V \cdot S = 0,155 \cdot 78,54 \cdot 10^{-4} = 1,217 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 1,217 \text{ l/s}$$

$$d/ P_h = p \cdot Q_v = 300 \times 10^5 \times 1,217 \times 10^{-3} = 36510 \text{ W} = 36,51 \text{ kW}$$

## Exercices

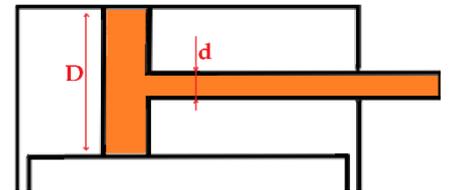
1. Un vérin hydraulique est alimenté par une pompe de débit  $Q_v = 80 \text{ l/min}$  sous une pression  $p = 170 \text{ bar}$

On donne  $d = 60 \text{ mm}$ , diamètre de la tige.

$D = 100 \text{ mm}$ , diamètre du piston.

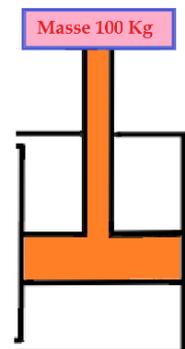
$C = 1 \text{ m}$ , course de la tige.

- Calculer la force  $F_s$  développée lors de la sortie de la tige du vérin.
- Calculer la force  $F_r$  développée lors de la rentrée de la tige.
- Calculer la vitesse  $V_s$  de sortie de la tige.
- Calculer la vitesse  $V_r$  de rentrée de la tige.
- Calculer les temps  $t_s$  et  $t_r$  mis par la tige pour parcourir la course  $C$  dans les deux phases.



2. Pour soulever une charge de  $100 \text{ kg}$ , un vérin hydraulique (diamètre du piston  $D = 6 \text{ cm}$ ) est alimenté par une pompe de rendement  $\eta = 80 \%$ . La pompe est entraînée par un moteur à la vitesse  $N = 1500 \text{ tr/min}$ .

- Calculer la force minimale  $F$  devant être fournie par le vérin pour soulever la charge.
- En déduire la pression minimale  $p$  devant être fournie par la pompe au vérin.
- Calculer le débit  $Q_v$  (en  $\text{l/s}$ ) de la pompe pour déplacer la charge à une vitesse  $V = 0,3 \text{ m/s}$ .
- Déduire la cylindrée  $C_y$  de la pompe.
- Calculer la puissance  $P_u$  fournie par la pompe et en déduire la puissance perdue  $P_p$ .



1/ a/ Lors de la sortie, la section concernée est  $S_s = \pi \frac{D^2}{4}$

$$S_s = \frac{\pi \times (100 \times 10^{-3})^2}{4} = 78,54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_s = p \cdot S_s = 170 \times 10^5 \times 78,54 \times 10^{-4} = 133,5 \text{ kN}$$

b/ Lors de la rentrée, la section concernée est  $S_r = \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4}$

$$S_r = \frac{\pi \times [(100 \times 10^{-3})^2 - (60 \times 10^{-3})^2]}{4} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_r = p \cdot S_r = 170 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-3} = 85 \text{ kN}$$

$$2/a/ F_{\text{mini}} = \text{poids de la charge} = m \cdot g = 100 \times 10 = 1000 \text{ N}$$

$$b/ \text{Section du piston } S = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(6 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 28,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{et } p = \frac{F_{\text{mini}}}{S} = \frac{1000}{28,27 \times 10^{-4}} = 3,537 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 3,537 \text{ bar}$$

$$c/ Q_v = V \cdot S = 0,3 \times 28,27 \cdot 10^{-4} = 8,481 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,848 \text{ l/s}$$

$$d/ C_y = \frac{Q_v}{N} = \frac{8,481 \cdot 10^{-4}}{\frac{1500}{60}} = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{tr} = 0,034 \text{ l/tr}$$

$$e/ P_u = P_h = p \cdot Q_v$$

$$= 3,537 \cdot 10^5 \cdot 8,481 \cdot 10^{-4}$$

$$= 300 \text{ W}$$



$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \Rightarrow P_a = \frac{P_u}{\eta} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ W}$$

$$\text{Puissance perdue dans la pompe est } P_p = P_a - P_u = 375 - 300 = 75 \text{ W}$$

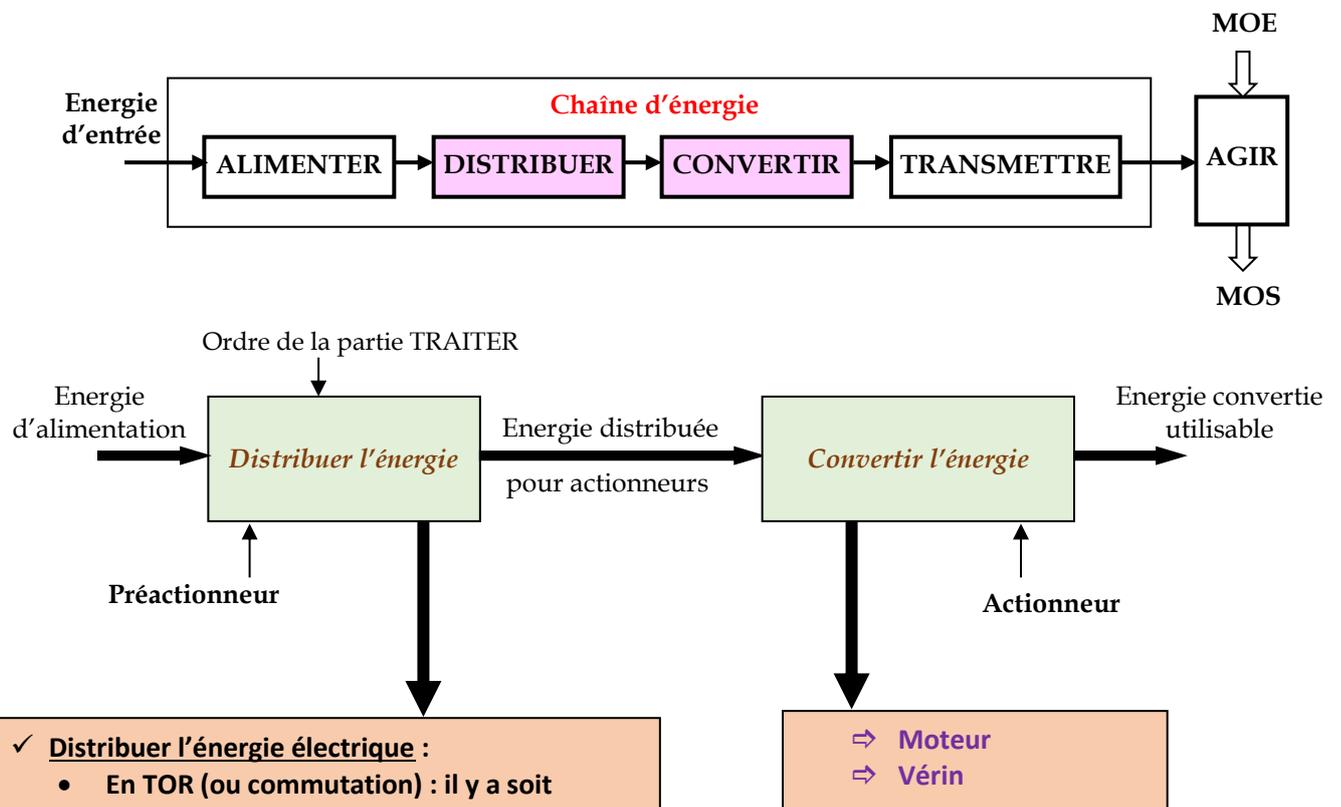
## Fonctions Distribuer et Convertir

### Mise en situation

Le store automatique étant alimenté par l'énergie électrique,

- La mise en mouvement de ses éléments nécessite que l'énergie électrique soit convertie en énergie mécanique : c'est le rôle de la fonction **CONVERTIR**. Cette fonction est matérialisée par des composants dits **actionneurs**.
- Mais avant, l'énergie électrique doit être convenablement acheminée vers le moteur afin d'obtenir l'action attendue (arrêt, montée ou descente du store) : c'est le rôle de la fonction **DISTRIBUER**. Cette fonction est matérialisée par des composants dits **préactionneurs**.

La position des fonctions DISTRIBUER et CONVERTIR dans la chaîne d'énergie est représentée par la suivante figure :

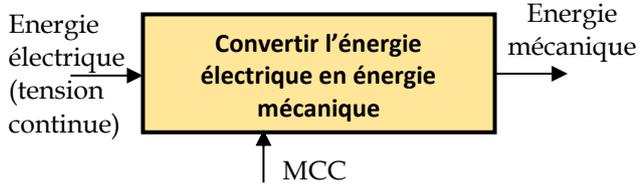


- ✓ **Distribuer l'énergie électrique :**
  - En TOR (ou commutation) : il y a soit établissement soit interruption de l'énergie
    - ⇒ Relais/contacteur
    - ⇒ Relais statique (électronique)
  - Par modulation : l'énergie est distribuée de façon graduelle
    - ⇒ Redresseur commandé
    - ⇒ Gradateur
    - ⇒ Hacheur
    - ⇒ Variateur de vitesse
- ✓ **Distribuer l'énergie pneumatique/hydraulique :**
  - ⇒ Distributeur

- ⇒ Moteur
- ⇒ Vérin

## Convertir l'énergie

### Moteur à courant continu MCC



#### Principe

Le MCC comporte deux parties, appelées stator (partie fixe) et rotor (partie mobile).

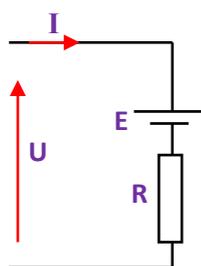
Le **stator**, aussi appelé **inducteur**, crée un champ magnétique.

Le **rotor**, aussi appelé **induit**, est alimenté par une tension continue U.

Les conducteurs du rotor, traversés par le courant et immergés dans le champ magnétique, sont soumis à la force de Laplace qui va faire tourner le rotor.



#### Modèle équivalent de l'induit



$$U = E + R \cdot I$$

$$E = K_e \cdot N$$

U : tension d'alimentation du moteur (V)  
R : résistance de l'enroulement induit ( $\Omega$ )  
I : courant qui traverse l'induit (A)  
E : force contre électromotrice (V)

$K_e$  : constante du moteur  
N : vitesse de rotation (tr/min)

#### Rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

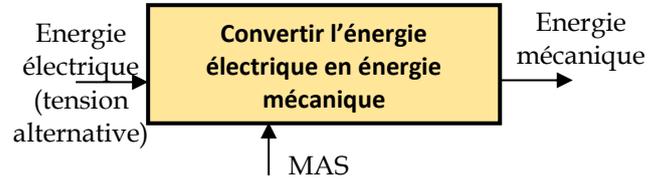
$$P_u = P_a - \text{Pertes}$$

$$P_u = C_u \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60}$$

$\eta$  : rendement du moteur (%)  
 $P_a$  : puissance absorbée (W)  
 $P_u$  : puissance utile (W)  
 $C_u$  : couple utile (Nm)  
 $\omega$  : vitesse de rotation (rd/s)

### Moteur asynchrone MAS



#### Principe

Le stator, constitué de 3 bobines alimentées en triphasé, produit un champ magnétique tournant à la **vitesse de synchronisme  $N_s$** .

Le rotor est le siège de courants induits et est alors soumis aux forces de Laplace, qui l'entraînent à une **vitesse de rotation N** légèrement inférieure à la vitesse  $N_s$ , d'où le nom de moteur **asynchrone**.

On définit le glissement g (en %)

$$g = \frac{N_s - N}{N_s}$$

$$N_s = \frac{f}{p} \quad (\text{en tr/s})$$

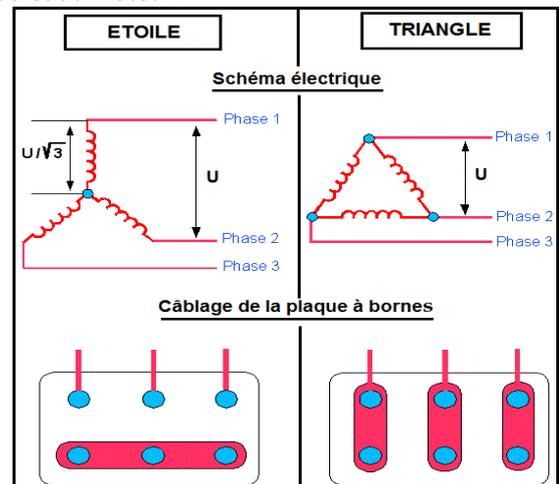
f : fréquence (Hz)

p : nombre de paires de pôles du stator



#### Couplage des enroulements statoriques

Le couplage des trois enroulements du stator peut être en **étoile Y** ou en **triangle  $\Delta$** . Il dépend des caractéristiques du réseau et du moteur.



Moteur	Réseau (tension entre phases U)		
	230 V	400 V	690 V
127/230 V	Y	-	-
230/400 V	$\Delta$	Y	-
400/690 V	-	$\Delta$	Y

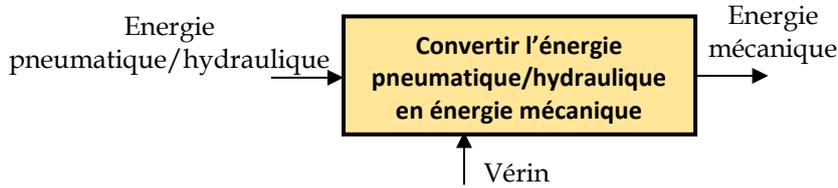
#### Rendement

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad P_a = \sqrt{3}UI \cos\phi \quad P_u = C_u \cdot \omega$$

U et I : Tension d'alimentation et courant absorbé

$\cos\phi$  : facteur de puissance du moteur

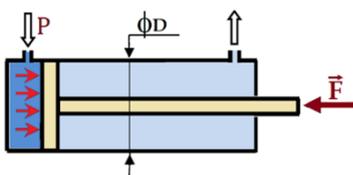
**Vérin pneumatique/hydraulique**



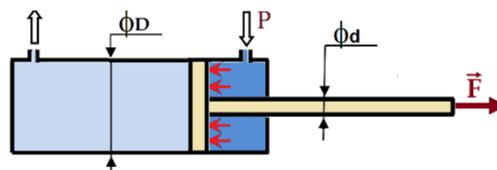
Vérin simple effet	Vérin double effet
<p>Un vérin est dit simple effet quand l'un des mouvements est obtenu grâce au fluide sous pression, tandis que l'autre est obtenu grâce à l'effet d'un ressort de rappel.</p> <p><b>Positions de la tige du vérin (rentrée et sortie)</b></p>	<p>Dans un vérin double effet, la sortie et la rentrée de la tige s'effectue par l'application de la pression alternativement, de part et d'autre du piston.</p> <p><b>Positions de la tige du vérin</b></p>

**Caractéristiques d'un vérin**

Compte tenu de la relation  $F = p.S$ , l'effort  $F$  développé pendant la sortie et la rentrée de la tige sont :



$$F = p \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$



$$F = p \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$p$  : pression de service (en Pa)  
 $d$  : diamètre de la tige (en m)  
 $D$  : diamètre du piston (en m)

Puissance utile

$$P_u = F \cdot V$$

( $P_u$  en W,  $F$  en N et  $V$  vitesse en m/s)

Vitesse de déplacement de la tige

$$V = \frac{Q_v}{S}$$

( $Q_v$  : débit volumique (en m<sup>3</sup>/s),  $S$  : surface utile (en m<sup>2</sup>))

Puissance absorbée

$$P_A = Q_v \cdot p$$

( $P_A$  en W,  $Q_v$  en m<sup>3</sup>/s et  $p$  pression en Pa)

## Exercices

1. La plaque signalétique d'un moteur à courant continu à aimant permanent indique :  
 $P_u = 26,3 \text{ kW}$ ,  $n = 1150 \text{ tr/min}$ ,  $U = 440 \text{ V}$  et  $I = 68,5 \text{ A}$ .  
 La résistance de l'enroulement induit est  $R = 0,5 \Omega$ .
- Calculer, en régime nominal, la f.c.ém  $E$ , le couple utile  $C_u$ , la puissance absorbée  $P_a$  et le rendement  $\eta$ .
  - Calculer l'intensité  $I_d$  qui serait absorbée au moment d'un démarrage direct.
2. Un moteur asynchrone tourne à  $965 \text{ tr/min}$  avec un glissement de  $3,5 \%$ .  
 Déterminer la vitesse de synchronisme  $N_s$  et le nombre de pôles du moteur sachant que la fréquence du réseau est  $f = 50 \text{ Hz}$ .
3. La plaque signalétique d'un moteur asynchrone porte les indications suivantes :
- |          |             |                       |
|----------|-------------|-----------------------|
| 3 ~      | 50 Hz       | 3kW                   |
| $\Delta$ | 220 V       | 11 A                  |
| Y        | 380 V       | 6,4 A                 |
|          | 1455 tr/min | $\cos \varphi = 0,80$ |
- Le moteur est alimenté par un réseau triphasé 50 Hz, 380 V entre phases.
- Quel doit être le couplage de ses enroulements pour qu'il fonctionne normalement ?
  - Quelle est la vitesse de synchronisme  $N_s$  ? (Remarquer que  $N = 1455 \text{ tr/min}$ ).
  - En déduire le nombre de pôles du moteur.
  - En régime nominal, calculer le glissement  $g$ , la puissance absorbée  $P_a$ , les pertes, le rendement  $\eta$  et le couple utile  $C_u$ .

$$1/ a). E = U - R \cdot I = 440 - 0,5 \times 68,5 = 405,75 \text{ V}$$

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{P_u}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_u}{n} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{26,3 \times 10^3}{1150} = 218,39 \text{ Nm}$$

$$P_a = U \cdot I \quad (\text{car à aimant permanent} \rightarrow \text{aucune consommation pour l'inducteur.})$$

$$P_a = 440 \times 68,5 = 30140 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{26,3 \times 10^3}{30140} = 87,26\%$$

b) Au moment, on a encore  $n = 0$

$$\text{donc } E = 0 \quad (\text{en effet } E = k \cdot n)$$

$$U = E + R \cdot I \quad \text{devient} \quad U = R \cdot I_d$$

$$\Rightarrow I_d = \frac{U}{R} = \frac{440}{0,5} = 880 \text{ A}!$$

$$2.) \text{ ma } g = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow g \cdot n_s = n_s - n$$

$$\Rightarrow n_s = \frac{n}{1-g} = \frac{965}{1-0,035} = 1000 \text{ tr/min} \quad (\text{c'est la valeur attendue})$$

$$n_s = \frac{f}{p} \Rightarrow p = \frac{f}{n_s} = \frac{50}{1000/60} = 3$$

La machine possède donc 6 pôles. (machine hexapolaire.)

3) a) Couplage étoile vu les indications de la plaque signalétique et la tension du réseau ( $U = 380 \text{ V}$ )

b) La vitesse nominale est  $N = 1455 \text{ tr/min}$ , celle de synchronisme ne peut être que  $N_s = 1500 \text{ tr/min}$

$$c) p = \frac{f}{N_s} = \frac{50}{1500/60} = 2$$

donc 4 pôles (machine tétrapolaire)

$$d) \cdot g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03 = 3\%$$

$$\cdot P_a = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 6,4 \cdot 0,8 = 3370 \text{ W}$$

$$\cdot \Sigma \text{ Pertes} = P_a - P_u = 3370 - 3000 = 370 \text{ W}$$

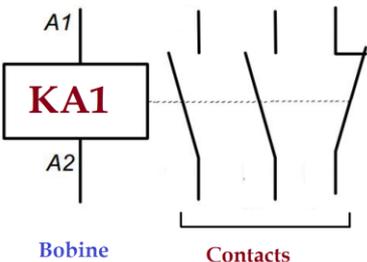
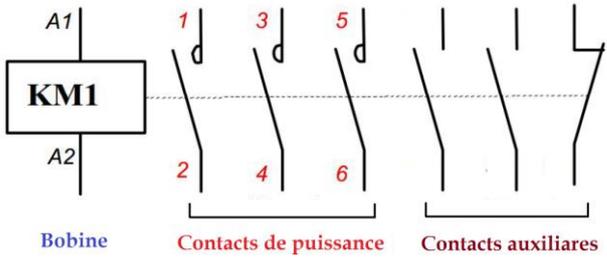
$$\cdot \eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{3000}{3370} = 0,89 = 89\%$$

d'après la plaque signalétique  $P_u = 3 \text{ kW}$

$$\cdot C_u = \frac{P_u}{\omega} = \frac{P_u}{\frac{2\pi N}{60}} = \frac{30}{\pi} \frac{P_u}{N} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{3000}{1455} = 19,69 \text{ N.m.}$$

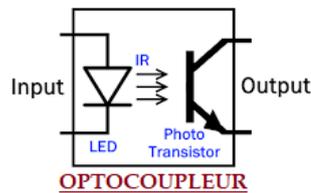
## Distribuer l'énergie

### Distribuer l'énergie électrique

Relais	Contacteur
<p>Un relais est constitué d'une bobine qui, sous l'ordre la partie Traiter, s'excite et attire une armature ferromagnétique qui déplace un ou plusieurs contacts</p>  <p><u>Symbole</u></p>  <p>Bobine                      Contacts</p>	<p>Le contacteur repose sur le même principe qu'un relais, mais le courant mis en jeu est important.</p>  <p><u>Symbole</u></p>  <p>Bobine                      Contacts de puissance                      Contacts auxiliaires</p>

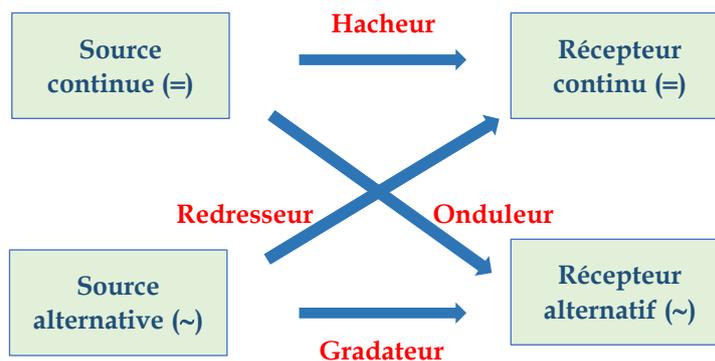
### Relais statique

Par opposition au relais électromagnétique, le relais statique ne possède pas de pièces en mouvement ; la commutation est assurée par un dispositif électronique (optocoupleur) constitué d'une LED et d'un phototransistor.



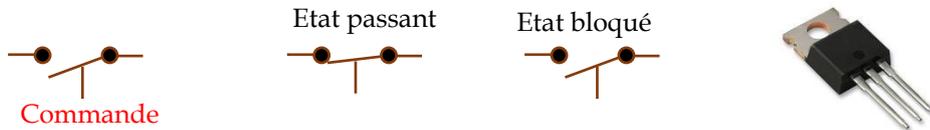
### Convertisseurs

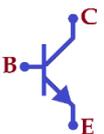
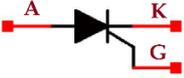
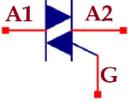
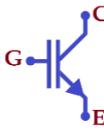
Un convertisseur statique est un montage utilisant des interrupteurs à semi-conducteurs (transistor, thyristor, triac, IGBT...) permettant, par une commande convenable de ces derniers, d'adapter une source d'énergie à un récepteur.



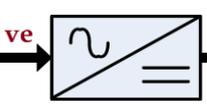
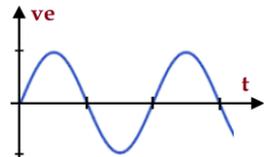
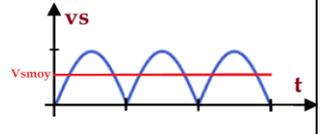
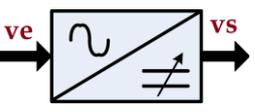
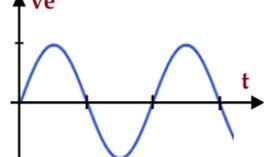
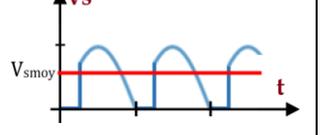
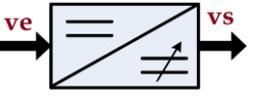
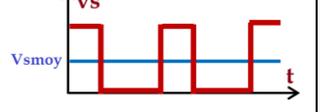
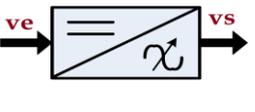
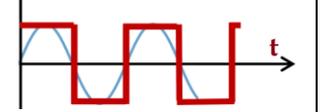
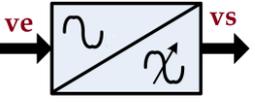
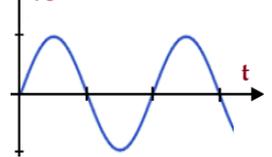
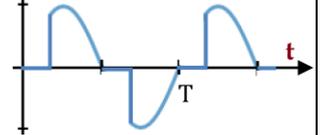
Interrupteur statique

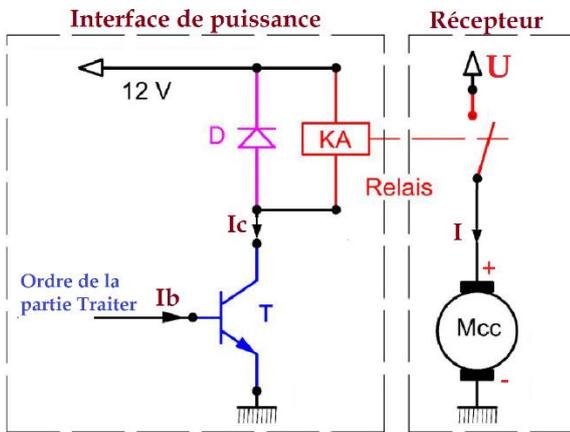
C'est un composant électronique à semi-conducteurs dont on peut commander l'état (passant ou bloqué).  
Un interrupteur statique peut être transistor, thyristor, triac, IGBT...



Transistor bipolaire	Thyristor	Triac	IGBT
 <p>B : base (entrée de commande) C : collecteur E : émetteur</p>	 <p>G : gâchette (entrée de commande) A : anode K : cathode</p>	 <p>G : gâchette (entrée de commande) A1 et A2 : anodes</p>	 <p>G : gâchette (entrée de commande) C : collecteur E : émetteur</p>

Convertisseurs statiques et leurs fonctions

Convertisseur	Symbole	Tension d'entrée	Tension de sortie
<p><b>Redresseur</b> Transformer une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée de valeur moyenne fixe.</p>			
<p><b>Redresseur commandé</b> Transformer une tension alternative sinusoïdale en une tension redressée de valeur moyenne réglable.</p>			
<p><b>Hacheur</b> Transformer une tension continue fixe en une tension de valeur moyenne réglable.</p>			
<p><b>Onduleur</b> Transformer une tension continue fixe en une tension périodique.</p>			
<p><b>Gradateur</b> Transformer une tension sinusoïdale de valeur efficace constante en une Tension alternative de valeur efficace réglable.</p>			

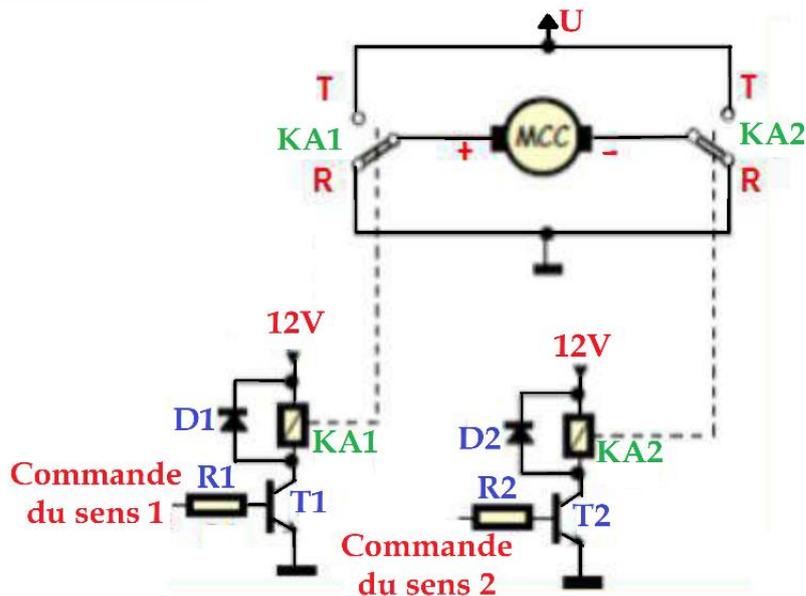
Commande d'un moteur via une interface de puissance

La commande du moteur ne provient pas directement de la partie Traiter, mais via un relais piloté par un transistor.

En effet, sous un ordre du module de traitement, le transistor **T** est saturé et le relais **KA** s'excite. Le contact du relais est aussitôt fermé, le moteur se met en marche. Les courants mis en jeu sont tels que  $I_b \ll I_c \ll I$ .

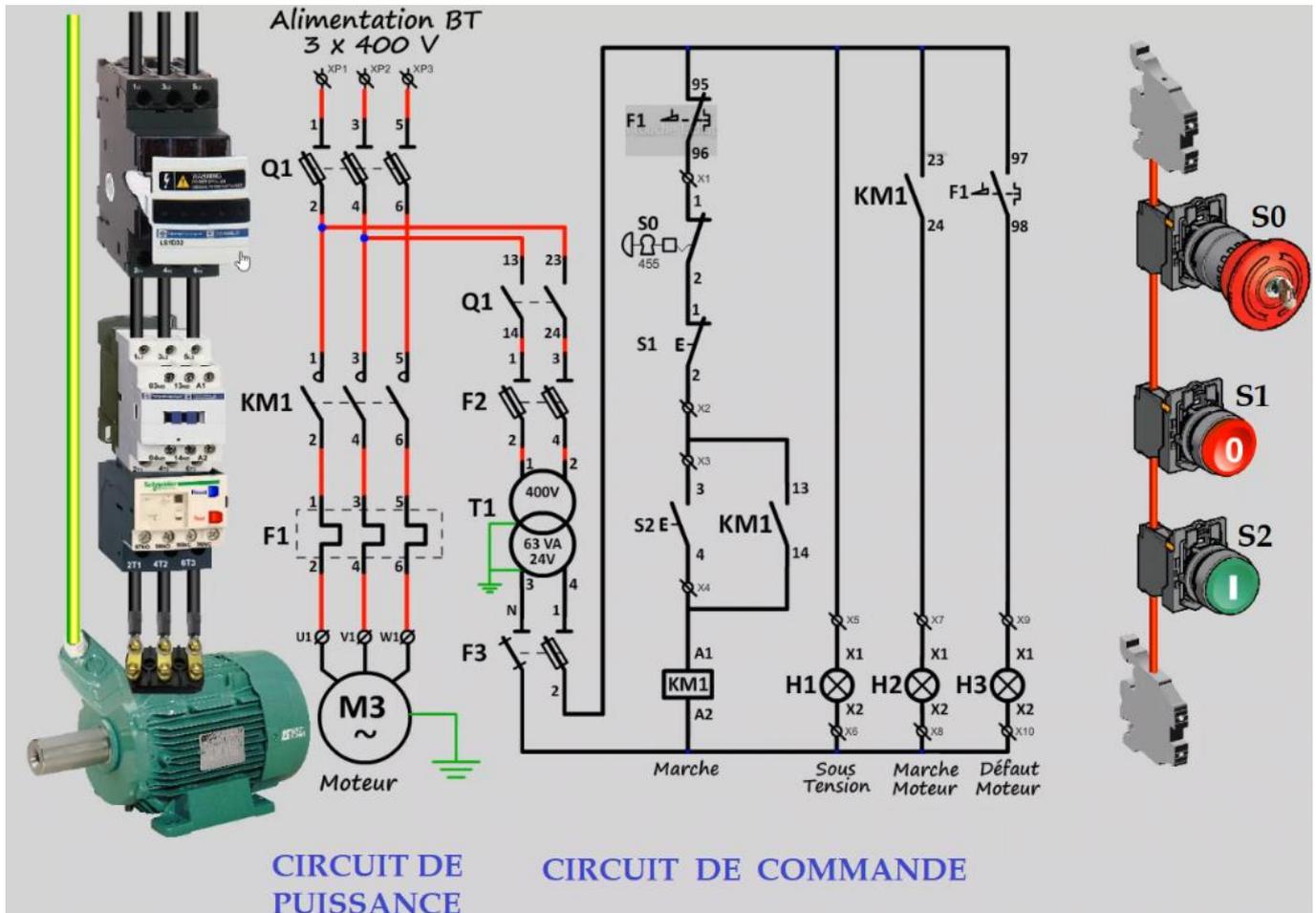
La diode **D**, dite diode de **roue libre**, protège le transistor **T**, lorsque celui-ci passe à l'état bloqué, contre les surtensions dues à l'énergie emmagasinée dans la bobine.

Ainsi, cette énergie emmagasinée est évacuée à travers la diode **D** lorsque le transistor se bloque.

Inversion de sens de rotation d'un MCC

L'inversion du sens de rotation d'un MCC est obtenue en inversant le courant dans l'induit donc en inversant les polarités.

- Un ordre de commande du sens 1 excite le relais KA1 (position T) ; le moteur est alors sous tension et tourne dans le sens 1 ;
- Un ordre de commande du sens 2 excite le relais KA2 ; le moteur est alimenté avec polarités inversées et tourne dans le sens 2.

Commande d'un moteur asynchrone triphasé en un seul de marche

**Q1** : sectionneur porte-fusibles

**KM1** : contacteur

**F1** : relais thermique

**T1** : transformateur

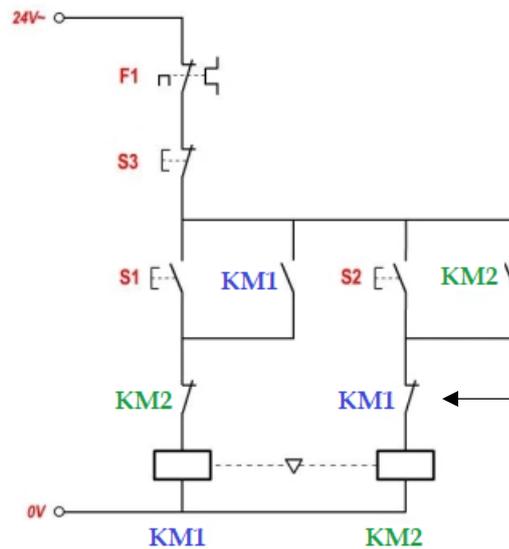
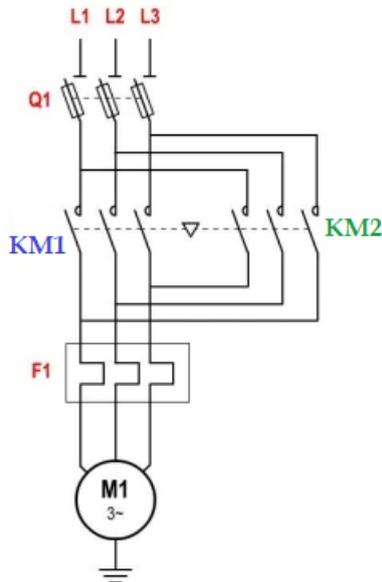
**S0, S1, S2** : respectivement bouton arrêt d'urgence, bouton arrêt et bouton marche

**H1, H2, H3** : voyants de signalisation ; respectivement signalisation de mise sous tension, signalisation de marche du moteur et signalisation de défaut de surcharge

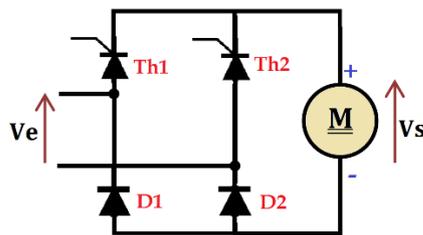
- Un appui sur le bouton **S2** enclenche la bobine (repère A1-A2) du contacteur **KM1** ; tous les contacts de **KM1** sont alors fermés, le moteur tourne.  
Si on relâche **S2**, le moteur continue à tourner car la bobine **KM1** reste excitée grâce à son contact **d'auto-maintien** KM1 (repère 13-14).
  - Une impulsion sur **S2** provoque la désexcitation de la bobine **KM1** ; les contacts **KM1** sont alors ouverts ; le moteur s'arrête.
- Le bouton arrêt d'urgence **S1** permet d'arrêter le moteur en cas de danger.
- En cas de surcharge, le relais thermique **F1** intervient pour ouvrir son contact **F1** (repère 95-96) qui provoque l'arrêt et fermer son contact **F1** (repère 97-98) qui allume le voyant **H3** signalant ce défaut.
- Le sectionneur porte-fusibles permet d'isoler l'installation (la séparer de l'alimentation) ; les fusibles protègent contre les courts-circuits.

Commande d'un MAS triphasé en deux sens de marche

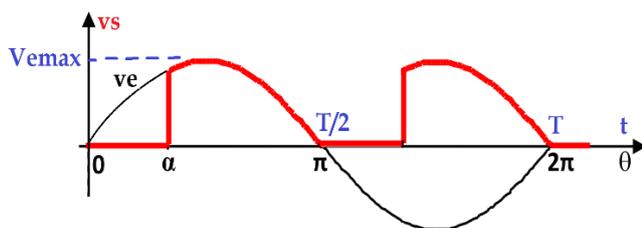
Pour inverser le sens de marche d'un MAS triphasé, il suffit d'inverser deux des trois phases.



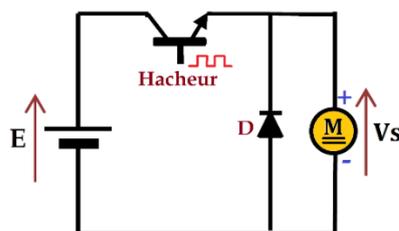
Contact de verrouillage qui empêche KM2 de se fermer pendant que KMI fonctionne.

Variation de la vitesse d'un MCC par redresseur à thyristors (commandé)

Ci-contre un redresseur commandé fait par un pont mixte composé de deux diodes et de deux thyristors. Le retard à l'amorçage  $\alpha$  du thyristor permet de régler la valeur moyenne  $\langle vs \rangle$  de la tension aux bornes du moteur et donc sa vitesse.

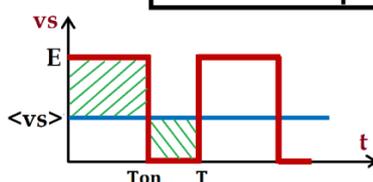


$$\langle vs \rangle = \frac{V_{max}}{\pi} \cdot (1 + \cos\alpha)$$

Variation de la vitesse d'un MCC par hacheur

Avec une commande appropriée, le hacheur (ici transistor) s'ouvre et se referme de façon périodique.

En agissant sur le temps de fermeture  $T_{on}$ , on arrive à régler la valeur moyenne  $\langle vs \rangle$  de la tension aux bornes du moteur et donc sa vitesse.

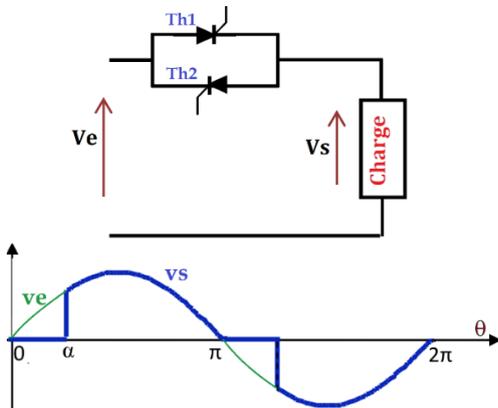


On définit le rapport cyclique par

$$\alpha = \frac{T_{on}}{T} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

$$\langle vs \rangle = \alpha \cdot E$$

Variation de la tension efficace aux bornes d'une charge



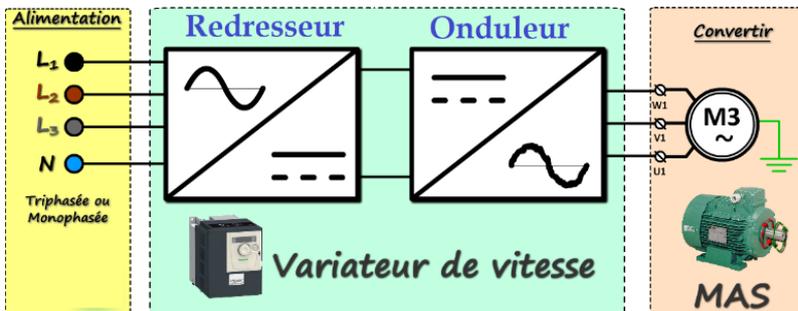
Ci-contre un gradateur constitué par deux thyristors montés en tête-bêche.

En agissant sur l'angle de retard à l'amorçage  $\alpha$ , on arrive à régler la valeur efficace **Vseff** de la tension aux bornes de la charge :

$$V_{seff} = V \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} - \frac{\sin 2\alpha}{2}} \quad (V \text{ étant la valeur efficace de } v_e)$$

Utilisation du gradateur : contrôle de la luminosité d'une lampe, de la puissance d'un appareil de chauffage...

Contrôle de la vitesse d'un MAS triphasé par variateur de vitesse

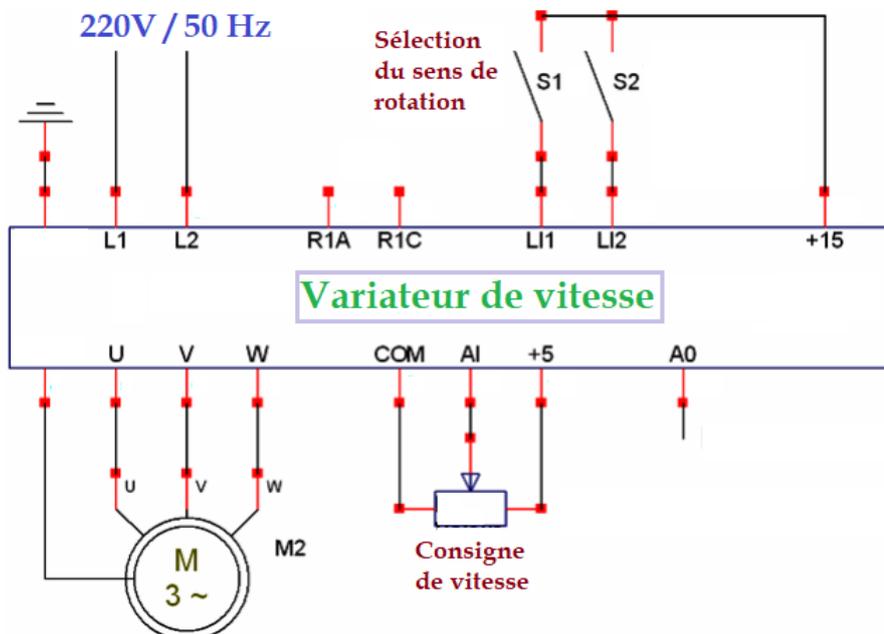


Principe

$$N = N_s(1 - g) = \frac{f}{p}(1 - g)$$

La variation de la vitesse **N** du moteur peut donc être obtenue par variation de la fréquence **f** de la tension d'alimentation.

A partir de la tension du secteur **50 Hz**, on produit une tension continue moyennant un redresseur, puis une tension triphasée de **fréquence réglable** moyennant un onduleur.



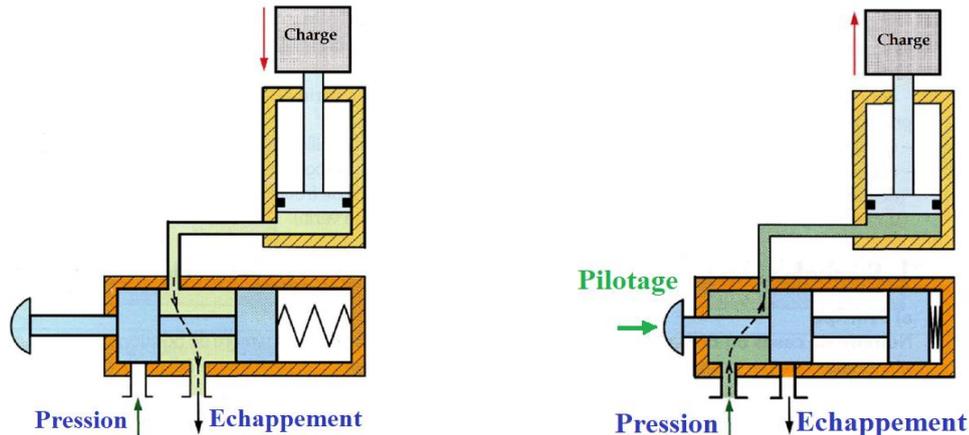
## Distribuer l'énergie pneumatique/hydraulique

### Distributeur

Le distributeur est un dispositif de commutation qui met les chambres d'un vérin à la pression ou à l'échappement selon l'ordre de pilotage provenant de la partie Traiter.



Le distributeur abrite une partie mobile appelée tiroir qui, sous un ordre de commande, se déplace pour fermer et ouvrir des orifices de fluide et ainsi piloter les différents états d'un vérin.



### Désignation des distributeurs

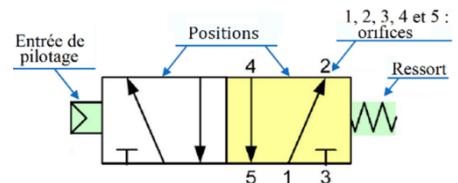
Un distributeur est caractérisé par :

- Le nombre d'orifices (2, 3, 4, ou 5).
- Le nombre de position du tiroir (2 ou 3 en général).
- Le type de commande (pilotage) : manuel, électrique, pneumatique.

→ Dans un distributeur monostable, un ressort de rappel ramène le dispositif à sa position initiale dès que le signal de commande (pilotage) est interrompu.

→ Dans un distributeur bistable, chacune des deux positions est obtenue par un signal appliqué à une entrée de pilotage.

Exemple : ci-contre, un distributeur **5/2** (5 orifices / 2 positions)  
**monostable** à **pilotage pneumatique**



Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Distributeur 2/2		Distributeur 4/3	
Distributeur 3/2		Distributeur 5/2	
Distributeur 4/2		Distributeur 5/3	

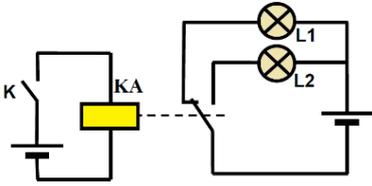
Commande (Pilotage)		Symbole	Commande (Pilotage)	Symbole
Manuel	Bouton poussoir		Electrique	
	Levier		Pneumatique	
	Pédale		Hydraulique	
Mécanique	poussoir		Electro-pneumatique	
	Galet			
	Ressort			

### Accessoires d'une installation pneumatique / hydraulique

Symbole	Composant	Symbole	Composant	Symbole	Composant
	Réservoir		Groupe de conditionnement		Compresseur
	Source de pression pneumatique		Groupe de conditionnement (schéma simplifié)		Pompe hydraulique
	Source de pression hydraulique		Vanne (Robinet)		Moteur hydraulique
	Echappement		Limiteur de pression (Soupape de sécurité)		Moteur pneumatique
	Manomètre		Régulateur de pression		Silencieux
	Débitmètre		Clapet de non-retour		Fonction OU (sélecteur de circuit)
	Lubrificateur		Réducteur de débit		Fonction ET (sélecteur à deux entrées)
	Filtre		Réducteur de débit réglable		
	Purgeur manuel		Réducteur de débit unidirectionnel réglable (Clapet de non-retour à étranglement)		

Exercices

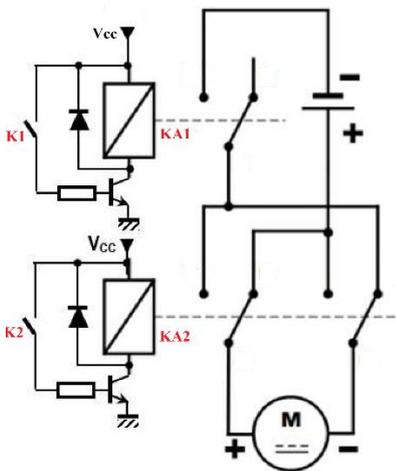
1. Compléter le tableau de fonctionnement du montage.



Etat de l'interrupteur k	Etat de la lampe L1 (allumée ou éteinte)	Etat de la lampe L2 (allumée ou éteinte)
Ouvert (KA non excité)	...allumée...	...éteinte...
Fermé (KA excité)	...éteinte...	...allumée...

2. Inversion du sens de marche d'un MCC.

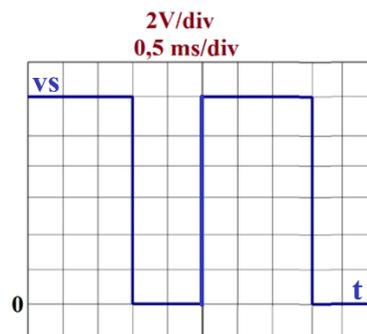
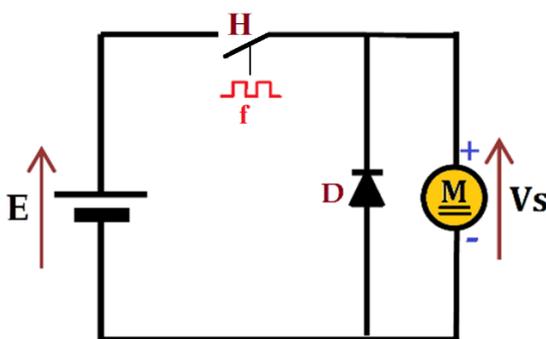
Compléter le tableau de fonctionnement.



K1 (Ouvert / Fermé)	K2 (Ouvert / Fermé)	Relais KA1 (Excité / désexcité)	Relais KA2 (Excité / désexcité)	Moteur (Arrêt / sens1 / sens2)
O	O	désexcité	désexcité	Arrêt
O	F	désexcité	excité	Arrêt
F	O	excité	désexcité	Sens 1
F	F	excité	excité	Sens 2

Si K1 est fermé, le transistor  $K_1$  conduit et le relais KA1 se trouve alimenté (excité)

3. Hacheur



- Que représente H ?
- Préciser le rôle de la diode D.
- Déterminer la valeur de la fréquence de hachage f.
- Déterminer la valeur du rapport cyclique  $\alpha$ .
- Déterminer la valeur de la f.é.m. E.
- En déduire la valeur de la tension moyenne  $\langle v_s \rangle$ .

a) H est le hacheur : c'est un interrupteur statique (transistor ou thyristor).

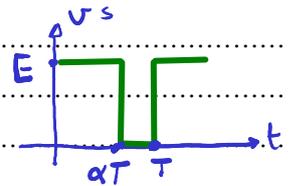
b) Assure la continuité du courant quand H s'ouvre (évite donc une surtension au niveau de H.)

$$c) T = 5 \times 0,5 \text{ ms} = 2,5 \text{ ms} ; f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,5 \times 10^{-3}} = 400 \text{ Hz}$$

d) Il est clair que  $\alpha = \frac{3}{5} = 0,6$

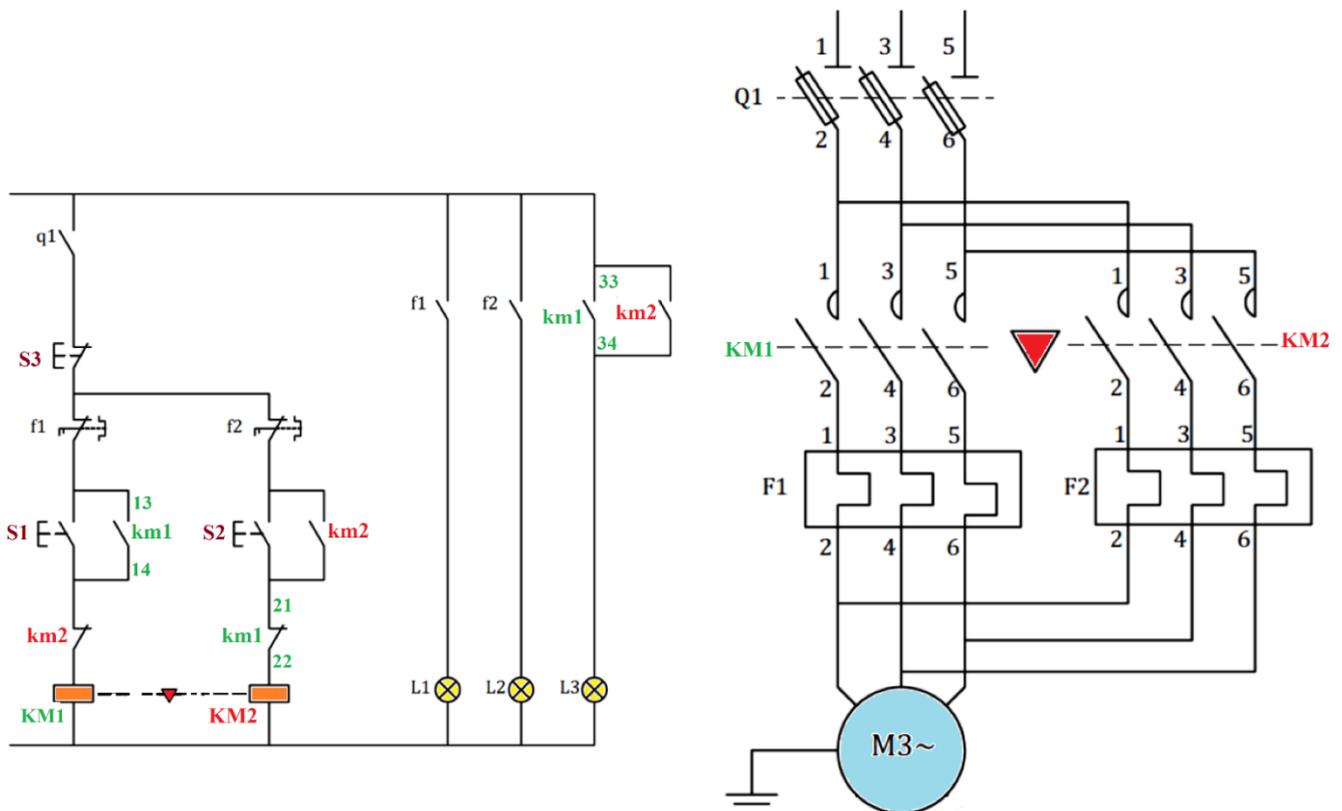
e) On relève  $E = 6 \times 2 \text{ V} = 12 \text{ V}$

$$f) \langle V_s \rangle = \alpha \cdot E = 0,6 \times 12 = 7,2 \text{ V}$$



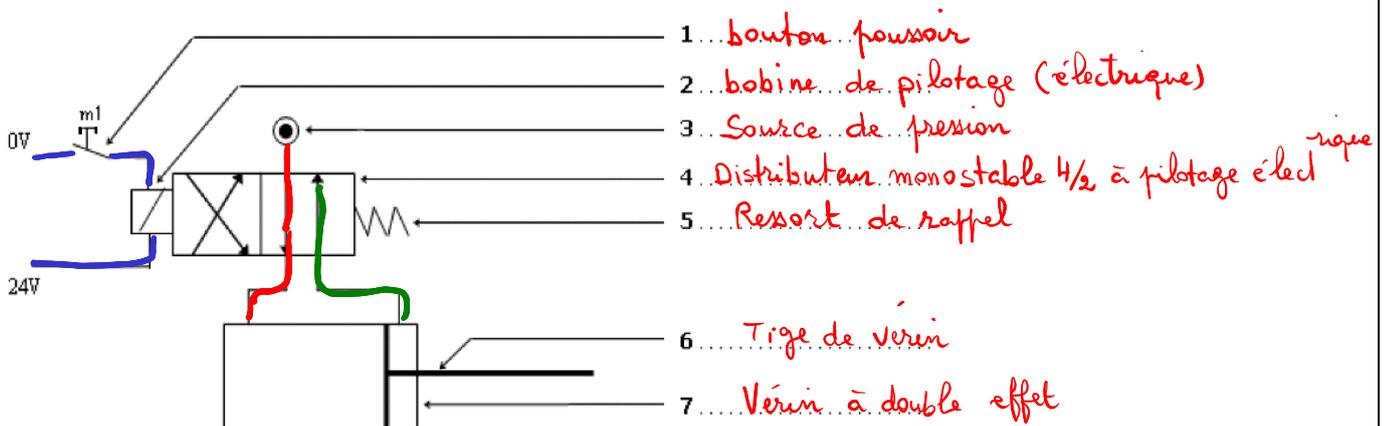
#### 4. Inversion du sens de marche d'un MAS triphasé.

Compléter le tableau.



Repère	Désignation	Fonction
Q1	Sectionneur porte-fusibles	Isoler l'installation du réseau d'alimentation Protéger " contre les courts-circuits
F1	Relais thermique	Protéger le moteur contre les surcharges
M	Moteur triphasé	Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique
KM1	Contacteur	Commander le moteur (Établir/interrompre)
S1, S2 et S3	Boutons poussoirs	Acquiescer l'ordre de marche en sens 1, marche en sens 2 et arrêt (respectivement)
L1, L2 et L3	Voyants de signalisation	Communiquer l'information défaut de surcharge (L1, L2) et moteur en marche (L3)
km1 (13-14)	Contact auxiliaire	Maintenir excitée la bobine KM1 après relâchement de S1 : contact d'auto-maintien
km1 (33-34)	"	Commander le voyant L1
km1 (21-22)	"	Empêcher l'excitation de KM2 (par S2) quand KM1 l'est déjà : Contact de verrouillage

### 5. Commande électrique d'un vérin pneumatique



- Compléter la légende.
- Le préactionneur est-il Monostable  ou Bistable  ?
- Repasser en rouge le circuit en pression, en vert le circuit à l'échappement et en bleu le circuit de commande

## 6. Exercice (extrait d'u sujet national)

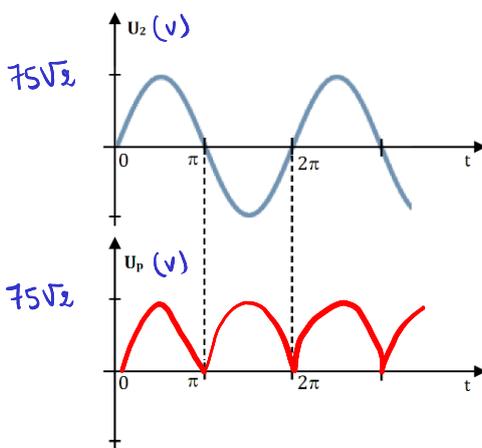
Le système présenté dans ce sujet est une tête de coupe

On se limite à la partie qui concerne la chaîne d'énergie concernant l'affûtage de la lame qui est composée d'un moteur à courant continu à aimant permanent et de deux contacteurs **Kav** et **Kar** (inversion de sens de rotation).

- a. Sur quel paramètre électrique peut-on agir pour faire varier la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu ?

*Tension de l'induit (Pas de possibilité d'agir sur la circuit inducteur, puisqu'il est à aimant permanent)*

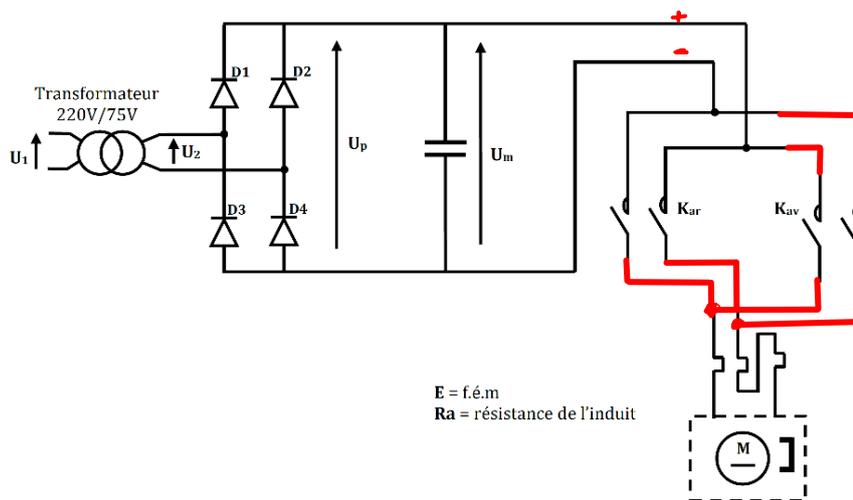
- b. En utilisant le **D.Res 1**, tracer la tension **Up** à la sortie du pont de diodes et donner sa valeur moyenne



*Il s'agit d'un pont de Graetz (redressement double alternance)*

$$U_{p\text{ moy}} = \frac{2 U_{p\text{ max}}}{\pi} = \frac{2 U_{2\text{ max}}}{\pi} \\ = \frac{2 \cdot 75\sqrt{2}}{\pi} = 67,52 \text{ V}$$

- c. Sachant que le moteur d'affûtage tourne dans les deux sens de rotation, compléter le schéma de câblage des contacteurs **Kav** et **Kar**.



- d. Calculer la constante de vitesse **Ke**, sachant que pour une vitesse de rotation **N = 2500 tr/min**, la f.é.m. **E = 46,25 V**.
- e. Calculer la f.é.m. **E** et le courant dans l'induit **In**, lorsque le moteur tourne à la vitesse de rotation nominale **Nn = 3000 tr/min** (on prend : **Um = 70 V, Ra = 11,82 Ω**).
- f. Calculer les pertes par effet Joules **Pj** dans l'induit.
- g. Calculer le rendement **η** du moteur. La somme des pertes autres que les pertes Joules est **Pc = 8 W**.
- h. Choisir sur l'extrait du catalogue **SANYO DENKI** du **D.Res 1**, la référence du moteur adéquat.

$$d) E = K_e \cdot N \Rightarrow K_e = \frac{E}{N} = \frac{46,25}{2500} = 0,0185 \text{ V/(tr/min)}$$

$$e) E = K_e \cdot N = 0,0185 \times 3000 = 55,5 \text{ V}$$

$$U = E + R_a \cdot I \Rightarrow I = \frac{U - E}{R_a} ; I_n = \frac{70 - 55,5}{11,82} = 1,227 \text{ A}$$

$$f) P_j = R_a \cdot I_n^2 = 11,82 \cdot 1,227^2 = 17,8 \text{ W}$$

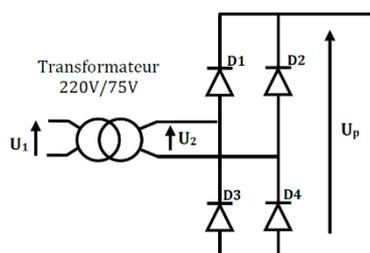
g) Puissance absorbée  $P_a = U \cdot I_n$  (Pas de puissance absorbée au niveau de l'inducteur.)  
 $P_a = 70 \cdot 1,227 = 85,9 \text{ W}$

Puissance utile  $P_u = P_a - \sum \text{pertes} = P_a - P_j - P_c = 85,9 - 17,8 - 8 = 60,1 \text{ W}$   
 donc  $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{60,1}{85,9} \approx 70\%$

h) Compte tenu de  $P_u, N_n, K_e, \dots$ , le moteur approprié est T406

### Document ressources : D. Res 1

#### Redressement monophasé



#### Extrait du catalogue SANYO DENKI

DESIGNATON	SYMBOLE	UNITE	REFERENCE MOTEUR				
			T404	T406	T506	T511	T720
Puissance utile	$P_u$	W	40	60	60	110	200
Vitesse nominale	$N_n$	tr/min	3000	3000	3000	3000	3000
Couple utile	$C_u$	Nm	0,08	0,137	0,156	0,270	0,605
Tension nominale	$U_n$	V	72	70	75	75	80
Courant nominal	$I_n$	A	1,0	1,4	1,2	2,0	3,4
Constante de vitesse	$K_e$	V/(tr.min <sup>-1</sup> )	0,0182	0,0185	0,0191	0,0216	0,0242
Constante de couple	$K_c$	Nm/A	0,174	0,177	0,183	0,21	0,23
Résistance de l'induit	$R_a$	$\Omega$	18,6	11,8	12,1	5,1	2,8

Expression de la valeur instantanée

$$U_2(t) = U_2 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$$

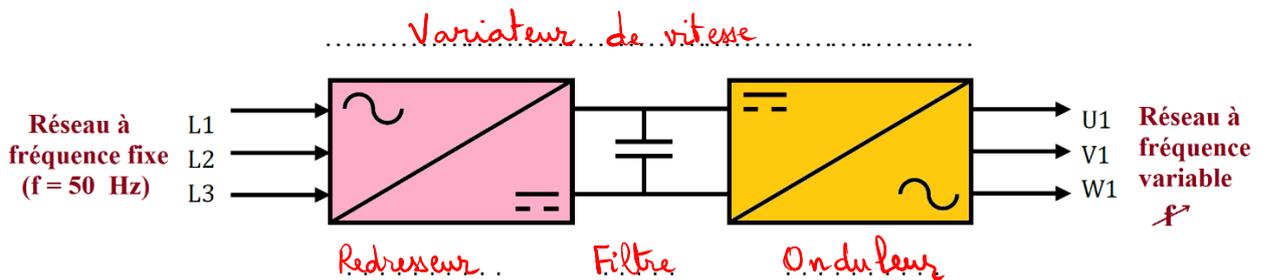
## 7. Exercice

Un MAS tétrapolaire (4 pôles) portes les indications suivantes :  $f = 50 \text{ Hz}$       $U = 400\text{V}$       $N = 1400 \text{ tr/min}$

- a. Calculer la vitesse de synchronisme  $N_s$  et le glissement  $g$  au fonctionnement nominal.

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ tr/min} ; g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 6,67\%$$

- b. La figure suivante représente le dispositif utilisé pour commander ce moteur. Indiquer, sur la figure, son nom ainsi que les noms de ses constituants.



Grâce à l'onduleur, on varie la fréquence de l'alimentation du moteur tout en imposant le rapport  $U/f = \text{constante}$ .

- c. Pour les fréquences  $f_1 = 20 \text{ Hz}$  et  $f_2 = 30 \text{ Hz}$ , calculer les vitesses de synchronismes  $N_{s1}$  et  $N_{s2}$ .  
d. Calculer les tensions  $U_1$  et  $U_2$  appliquées au moteur pour les deux cas.

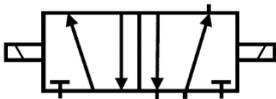
$$c) N_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 20}{2} = 600 \text{ tr/min} ; N_{s2} = \frac{60 \cdot f_2}{p} = \frac{60 \cdot 30}{2} = 900 \text{ tr/min}$$

$$d) \frac{U}{f} = \text{constante}$$

$$\text{donc } \frac{U_1}{f_1} = \frac{U}{f} \Rightarrow U_1 = U \cdot \frac{f_1}{f} = 400 \cdot \frac{20}{50} = 160 \text{ V}$$

$$\text{et } U_2 = U \cdot \frac{f_2}{f} = 400 \cdot \frac{30}{50} = 240 \text{ V}$$

## 8. Identifier les composants suivants :

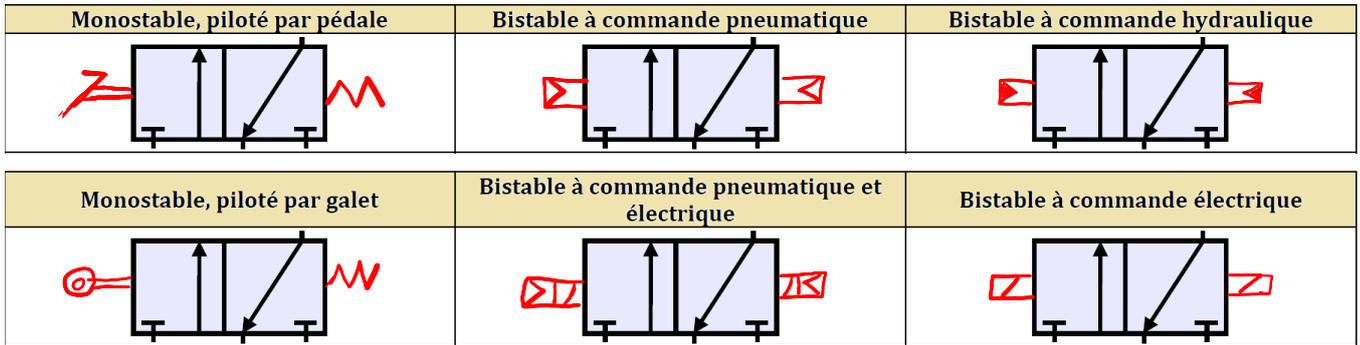


..... Distributeur 5/2 bistable à pilotage électrique .....

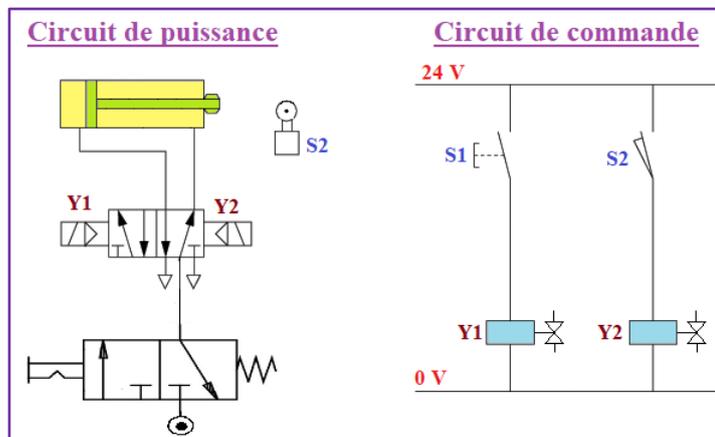


..... Distributeur 3/2 monostable à pilotage par bouton poussoir .....

9. A partir de la désignation du distributeur, dessiner les entrées de pilotage



10. Donner une description du fonctionnement de ce circuit :



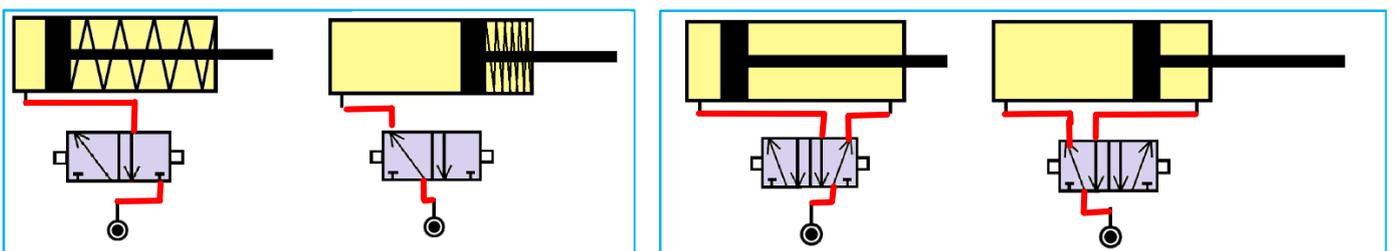
Il s'agit de la commande d'un vérin à double effet à l'aide d'un distributeur 5/2, bistable à pilotage électro-pneumatique.

Une impulsion sur le bouton poussoir S1, met la bobine Y1 sous tension : la tige du vérin sort.

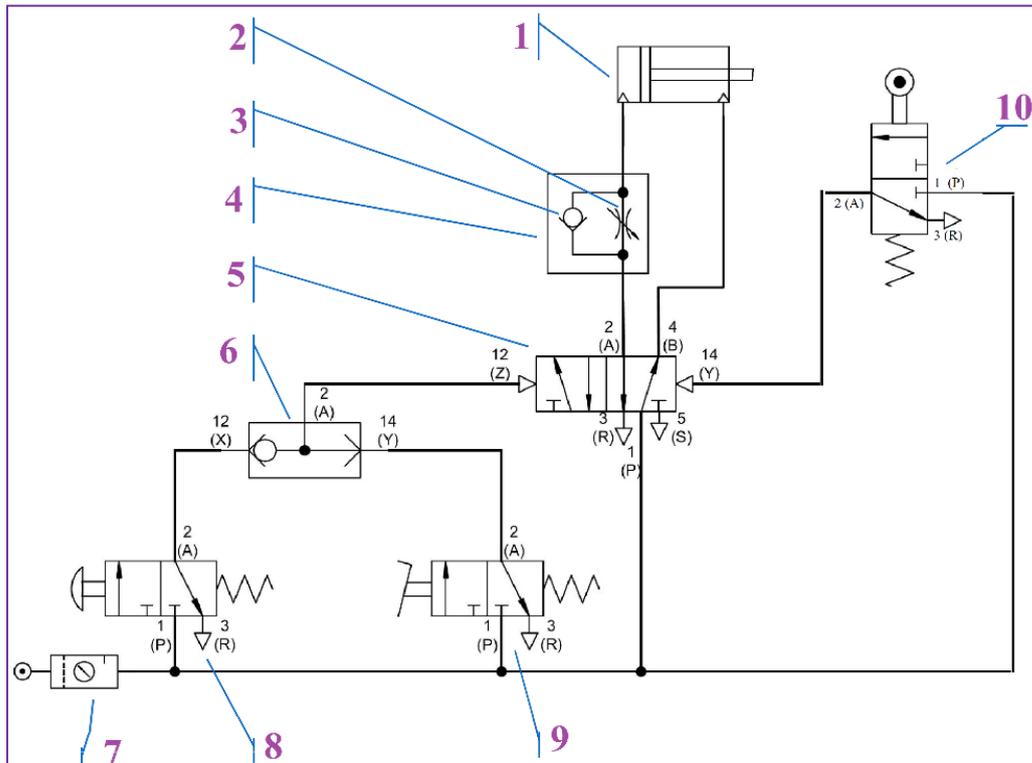
Quand le capteur de fin de course S2 est actionné, la bobine Y2 est excitée : la tige du vérin rentre.

Le distributeur 3/2 sert de vanne générale de l'installation.

11. La figure propose un vérin simple effet commandé par un distributeur 3/2 et un vérin double effet commandé par un distributeur 5/2. Compléter le câblage pour les deux positions des vérins

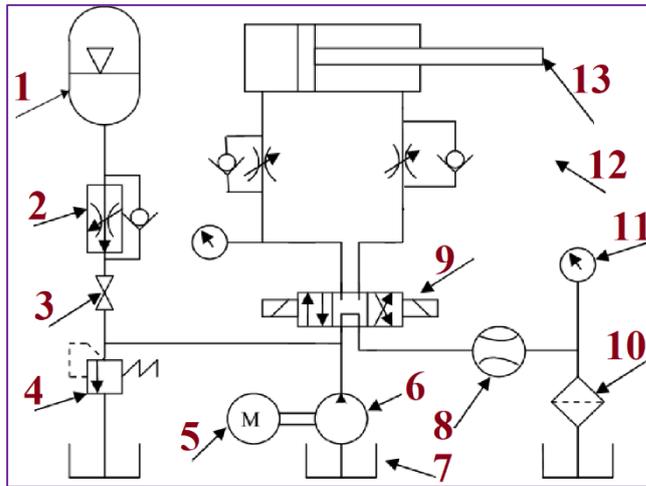


12. Identifier les éléments constituant l'installation et en donner une brève description du fonctionnement.



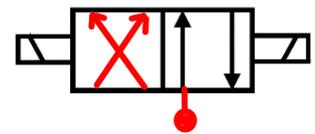
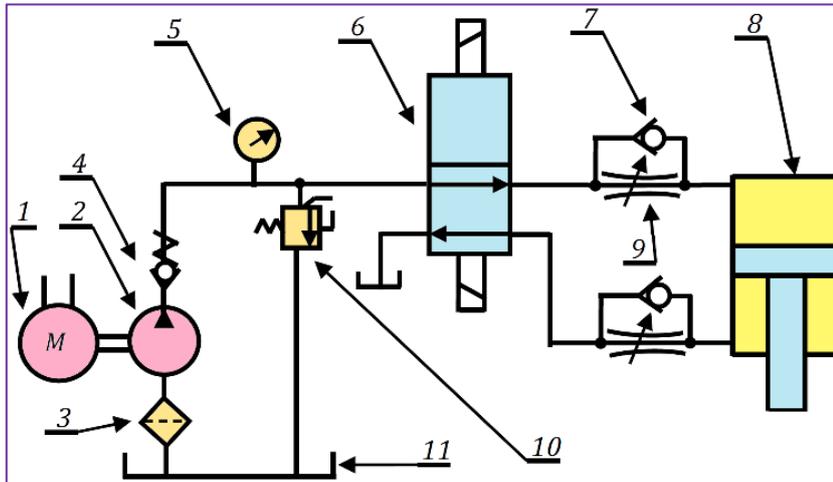
- 1 : Vérin à double effet
- 2 : Réducteur de débit réglable
- 3 : Clapet de non retour
- 4 : Réducteur de débit unidirectionnel réglable ( $\rightarrow 2+3$ )
- 5 : Distributeur 5/2, bistable à commande pneumatique
- 6 : Sélecteur de circuit (fonction logique OU)
- 7 : Groupe de conditionnement
- 8 : Distributeur 3/2, monostable à poussoir
- 9 : " " " à pédale
- 10 : Fin de course 3/2, monostable à galet
- \* Un appui sur l'un des boutons 8 ou 9, change la position du distributeur 5 : la tige du vérin 1 sort.
- \* Quand le capteur 10 est actionné, le distributeur 5 reprend sa position initiale : le vérin 1 rentre.
- La vitesse de rentrée de la tige est réglable grâce au réducteur de débit unidirectionnel 4.

13. Compléter le tableau d'identification de cette installation hydraulique



Repère	Désignation	Fonction
1	.....	.....
2	.....	.....
3	.....	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12	.....	.....
13	.....	.....

14.



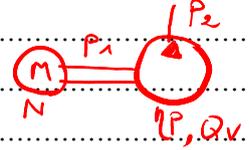
- a. Indiquer, sur le tableau, les noms des composants.
- b. Compléter le dessin du symbole du distributeur utilisé.
- c. Quelle fonction accomplit l'ensemble (7 + 9) ?
- d. Calculer la puissance utile **P2** (en **W**) de la pompe.
- e. Calculer la pression **pr** (en **bars**) de la pompe.
- f. Calculer la force **Fd** (en **N**) nécessaire pour faire descendre la tige.
- g. Calculer la vitesse **Vd** (en **mm/s**) de la tige en phase de descente.
- h. Calculer la cylindrée de la pompe **Cy** (en **l/tr**).

Repère	Désignation
1	... Moteur électrique ..... P <sub>1</sub> = 250 W    N = 750 tr/min
2	... Pompe hydraulique ..... Rendement η <sub>p</sub> = 0,8    Q <sub>v</sub> = 2 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s
3	... Filtre .....
4	... clapet de non retour .....
5	... Manomètre .....

Repère	Désignation
6	... Distributeur 4/3 bistable à commande électrique .....
7	... clapet de non retour .....
8	... Vérin hydraulique à double effet ..... D = 60 mm
9	... Réducteur de débit réglable .....
10	... Limiteur de pression .....
11	... Réservoir d'huile .....

c) C'est un régulateur de débit unidirectionnel réglable ; il permet de contrôler la vitesse de la tige du vérin.

$$d) \eta_p = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_2 = \eta_p \cdot P_1 = 0,8 \times 250 = 200 \text{ W}$$



$$e) P_2 = p_r \cdot Q_v \Rightarrow p_r = \frac{P_2}{Q_v} = \frac{200}{2 \times 10^{-4}} = 10 \times 10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ bars}$$

$$f) \text{ Pour la descente de la tige } F_d = p_r \cdot S = p_r \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$

$$F_d = 10 \times 10^5 \times \frac{\pi \times (60 \times 10^{-3})^2}{4} = 2827,43 \text{ N}$$

g) La puissance reçue par le vérin est presque égale à celle fournie par la pompe ; soit  $P_2 = F_d \cdot V_d \Rightarrow V_d = \frac{P_2}{F_d}$

$$V_d = \frac{200}{2827,43} = 0,0707 \text{ m/s} = 70,7 \text{ mm/s}$$

h) Pour une pompe, la cylindrée  $C_y$  est telle que  $Q_v = C_y \cdot N$  (c'est un paramètre constant de la pompe et représente le volume du fluide déplacé pour un tour de la pompe)

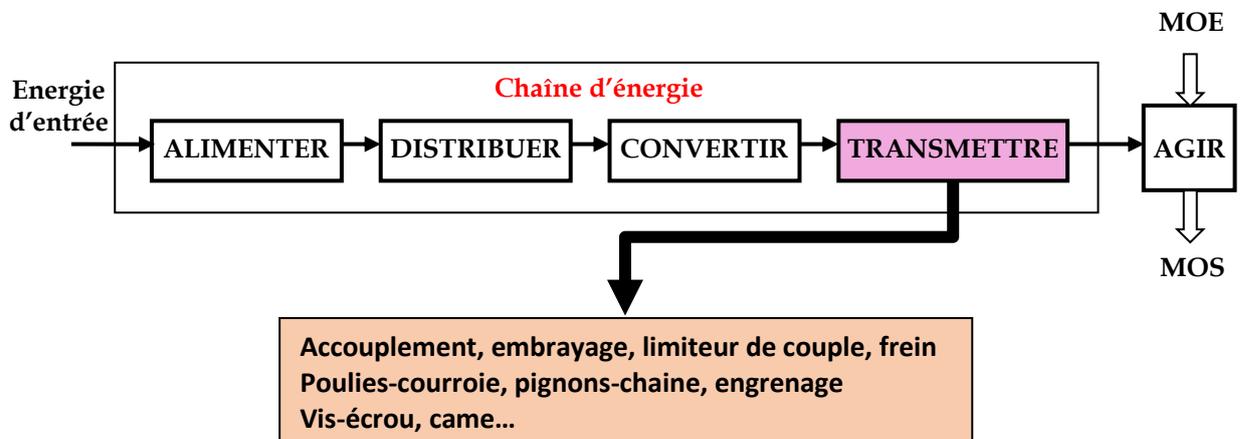
$$C_y = \frac{Q_v}{N} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{750/60 \text{ tr/s}} = 0,16 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{tr} = 0,16 \times 10^{-4} \times 10^3 \text{ l/tr} = 0,016 \text{ l/tr}$$

## Fonction Transmettre

Le mouvement mécanique issu de l'actionneur n'est pas toujours adapté pour agir directement sur la matière d'œuvre.

Cette adaptation se fait par modification des caractéristiques du mouvement et est confiée à la fonction Transmettre.

La position de la fonction Transmettre dans la chaîne d'énergie ainsi que certaines solutions constructives sont représentées par la suivante figure :



## Représentation graphique du réel

Le dessin industriel ou dessin technique, manuel ou assisté par ordinateur, est l'outil graphique utilisé pour passer de l'idée à la réalisation d'un produit technique. C'est aussi un langage de communication entre les différents intervenants du secteur industriel.

Le dessin technique s'établit selon des règles précises et normalisées.

### Types de dessin

On distingue :

■ **Dessin en perspective** : représente l'objet en volume et donne une impression de profondeur .

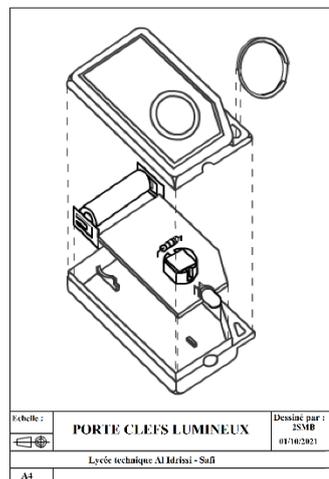
■ **Dessin en vue éclatée** : permet de situer les pièces les unes par rapport aux autres. Il facilite la compréhension de l'objet et son montage

■ **Dessin d'ensemble** : représente un mécanisme dans son ensemble. Il est constitué de l'assemblage de plusieurs pièces et permet une compréhension du rôle de chaque élément.

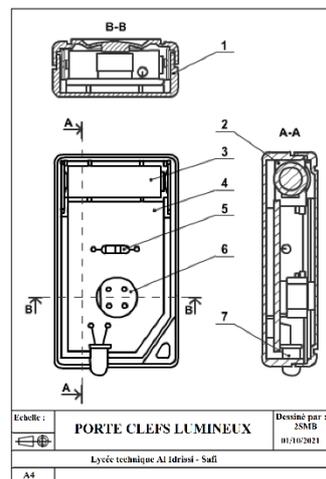
■ **Dessin de définition** : représente une pièce extraite du dessin d'ensemble. Il doit définir la pièce intégralement de la manière la plus complète possible.



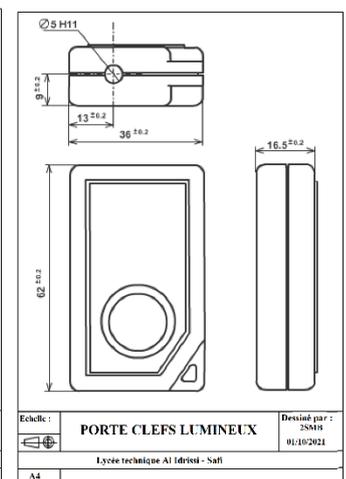
**Perspective**



**Vue éclatée**



**Dessin d'ensemble**



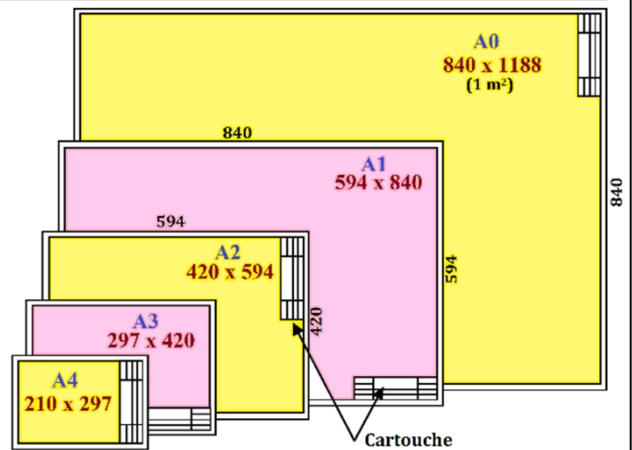
**Dessin de définition**

## Règles de bases

### Support du dessin technique

Les dessins sont exécutés sur des calques ou feuilles de papier de dimensions normalisées :

- Format **A4** : 210 x 297 (mm)
- Format **A3** : 297 x 420 (mm)
- Format **A2** : 420 x 594 (mm)
- Format **A1** : 594 x 840 (mm)
- Format **A0** : 840 x 1188 (mm) = 1 m<sup>2</sup>



### Echelle

L'échelle d'un dessin est le rapport entre les dimensions dessinées et les dimensions réelles de l'objet.

$$\text{Echelle} = \frac{\text{Dimensions dessinées}}{\text{Dimensions réelles}}$$

- Echelle **1 : 1** → vraie grandeur
- Echelle **1 : x** → réduction
- Echelle **x : 1** → agrandissement

### Cartouche

Le cartouche est un tableau qui identifie le dessin technique.

Il comporte le titre du dessin, l'échelle, l'identité du dessinateur, la date, le format, le nom de l'établissement, le symbole de disposition des vues...

<b>TITRE</b>		Nom :	
		Date :	
	Etablissement	Echelle 1: 1	

### Nomenclature

C'est la liste complète des pièces qui constituent un ensemble dessiné. Chaque pièce est numérotée et accompagnée d'un certain nombre de renseignements.

REP	NBR	DESIGNATION	MATIERE	OBS

**REP** : repère des pièces.

**MATIERE** : matière de chaque pièce.

**NB** : nombre de chaque pièce.

**OBS** : des observations si nécessaire

**DESIGNATION** : noms des pièces.

### Traits

Plusieurs types de traits sont employés en dessin technique ; chaque type est destiné à un usage bien précis.

Type de trait	Désignation	Applications
	Continu fort	Arêtes et contours vus, cadre et cartouche
	Interrompu fin	Arêtes et contours cachés
	Mixte fin	Axes et plans de symétrie
	Continu fin	Lignes d'attache et de cotes, hachures.
	Mixte fin terminé par deux traits forts	Plan de coupe
	Continu fin ondulé ou en zig-zag	Limites de vues et de coupes partielles

## Perspective cavalière

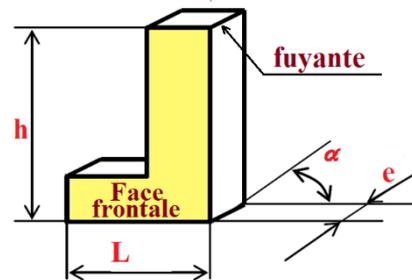
La vue en perspective cavalière est utilisée pour illustrer les objets dans leurs trois dimensions (dans l'espace). C'est une projection oblique suivant une direction donnée sur un plan parallèle à la surface principale de l'objet.

### Règles

- La face frontale est toujours en vraie grandeur.
- Les fuyantes sont inclinées d'un angle  $\alpha = 45^\circ$  et réduites d'un coefficient  $k = 0,5$ .
- Les fuyantes peuvent être orientées vers quatre sens.

**Exemple** : pièce en "L"

- $\alpha = 45^\circ$
- L = dimension réelle
- h = dimension réelle
- e = dimension réelle x 0,5

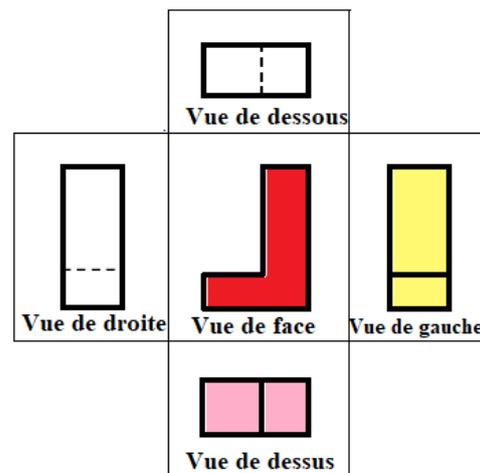
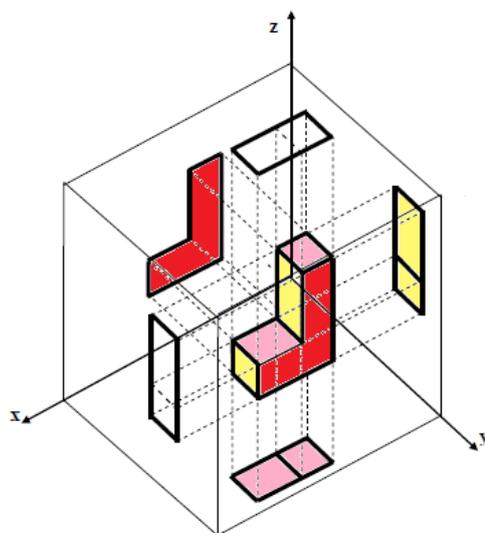
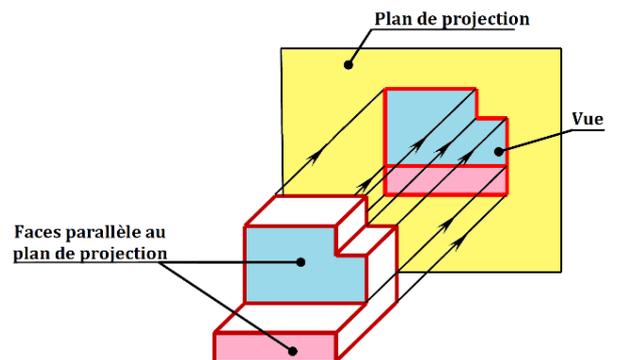


## Projection orthogonale

Le but de la projection orthogonale est de représenter un objet réel par plusieurs vues en deux dimensions pour en définir fidèlement les dimensions et les formes.

Les vues sont obtenues par la projection du solide sur différents plans dits plans de projection.

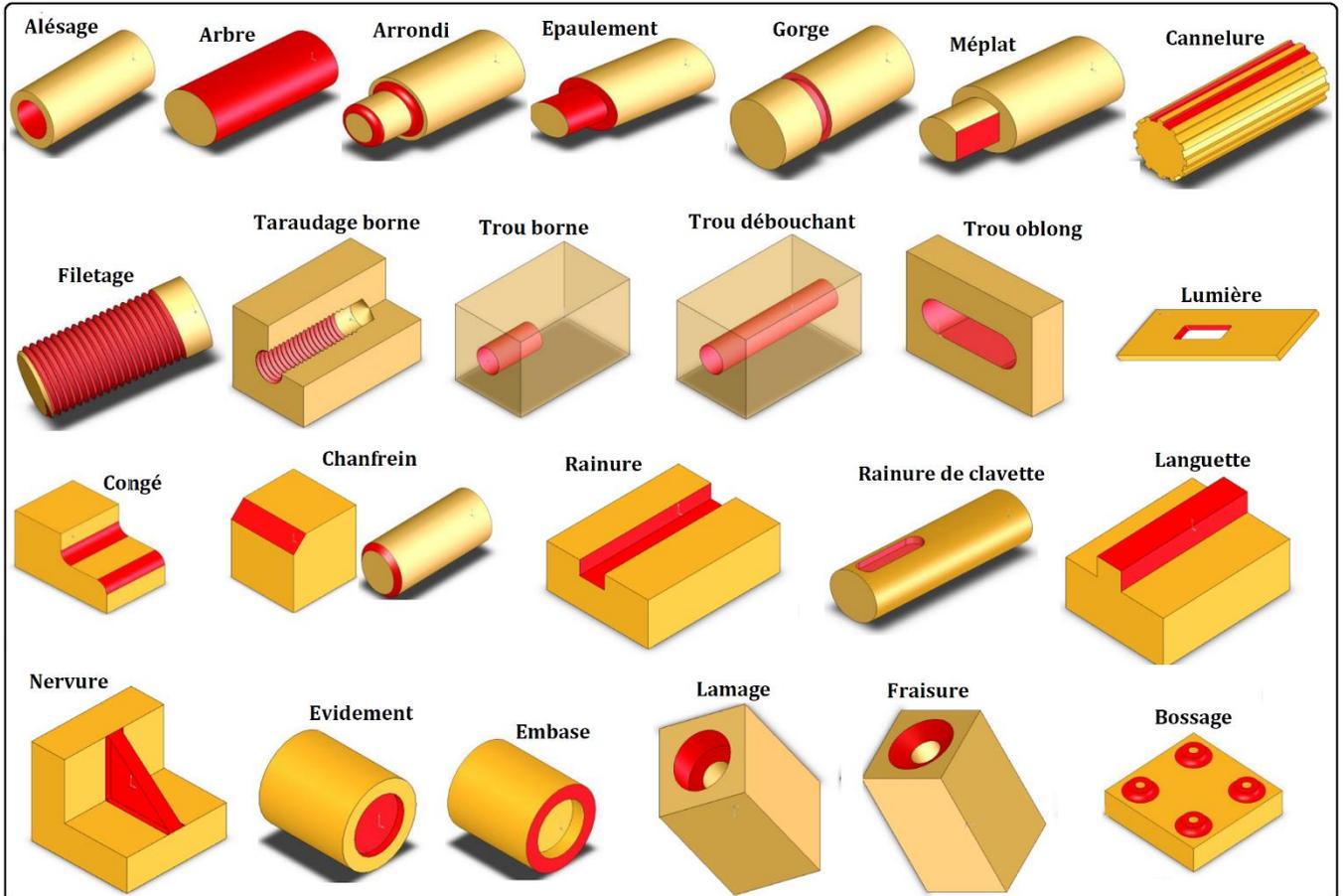
**Exemple** : pièce en "L"



### Règles

- Les arêtes vues sont représentées en trait fort.
- Les arêtes cachées sont représentées en trait fin interrompu.
- Deux traits continus forts ne se coupent jamais.
- Les axes de symétrie des formes cylindriques sont représentés en trait mixte.

## Vocabulaire des formes de pièces



## Coupes

Les coupes permettent de rendre visibles les formes intérieures d'une pièce.

La démarche pour exécuter une coupe simple est la suivante :

- Choisir un plan de coupe.
- Enlever la partie entre le plan de coupe et l'observateur.
- Projeter la partie observée sur le plan et hachurer les surfaces touchées par le plan de coupe.

Les hachures sont réalisées en traits fins. Le motif des hachures dépend du matériau de pièce coupée.



**Tous métaux et alliages**



**Matières plastiques  
ou isolantes**



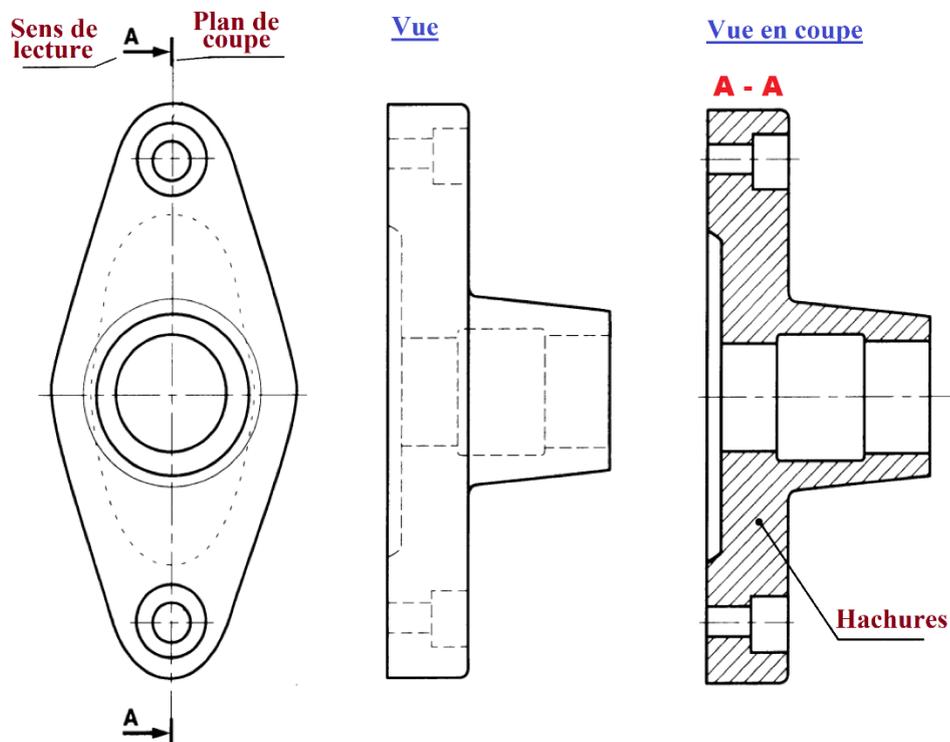
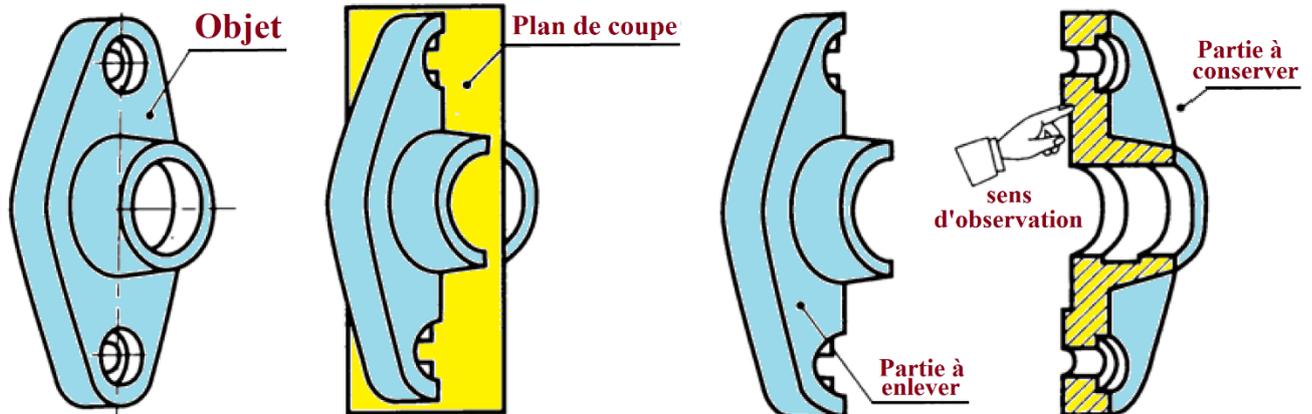
**Métaux et alliages légers  
(Aluminium)**



**Bobinage  
électroaimant**



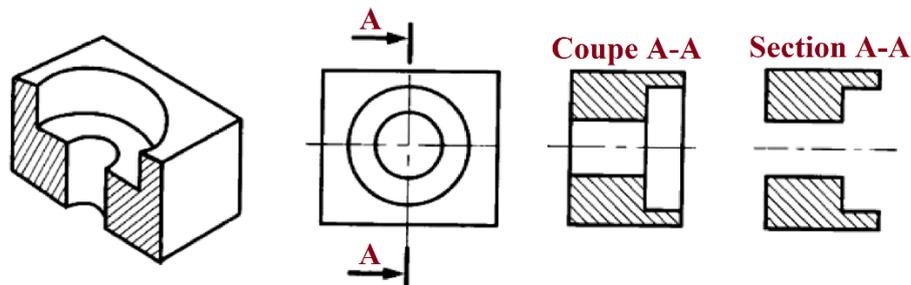
**Cuivre et ses alliages,  
béton léger**

ExempleRègles

- Les hachures ne coupent jamais un trait fort et ne s'arrêtent jamais sur un trait interrompu fin.
- On ne coupe jamais des nervures lorsque le plan de coupe passe dans le plan de leur plus grande surface. La règle est applicable aux bras de poulie, de roue, ... :
- On ne coupe jamais les pièces de révolution pleines (axes, arbres, billes, ...), les vis, les boulons et les clavettes car voir l'intérieur d'une pièce pleine ne présente aucun intérêt.

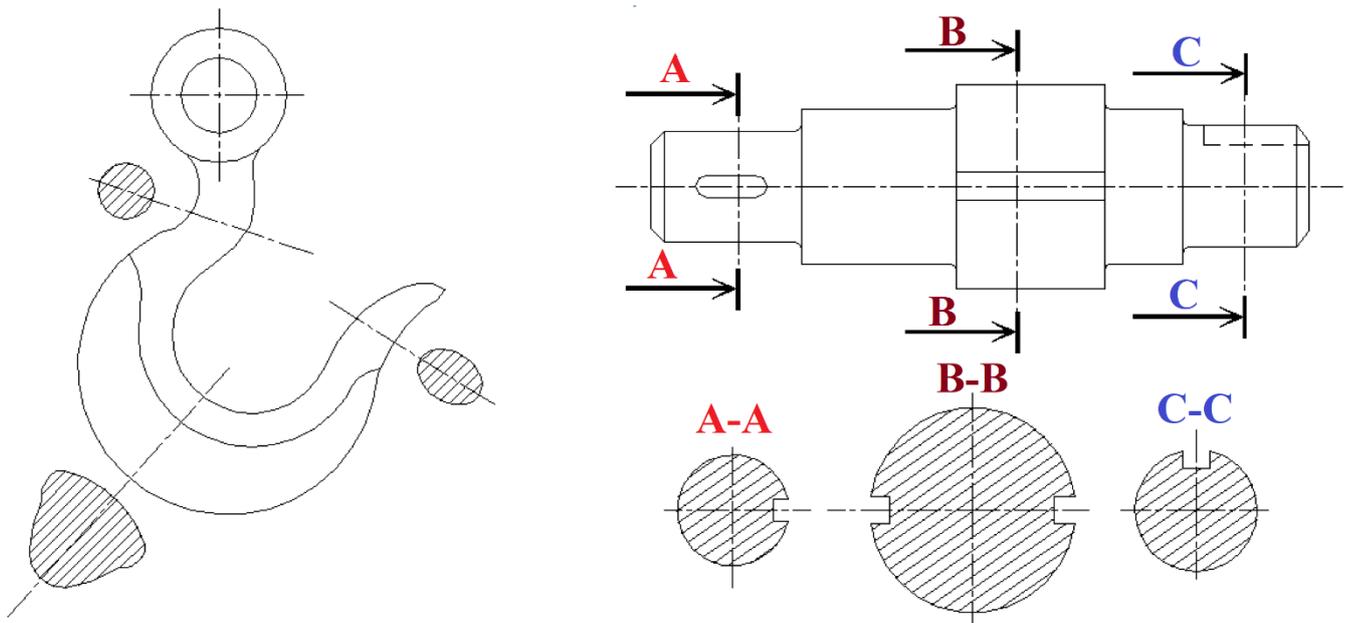
## Sections

Une section est définie de la même façon qu'une coupe mais ne représente que la partie de l'objet située dans le plan de coupe.



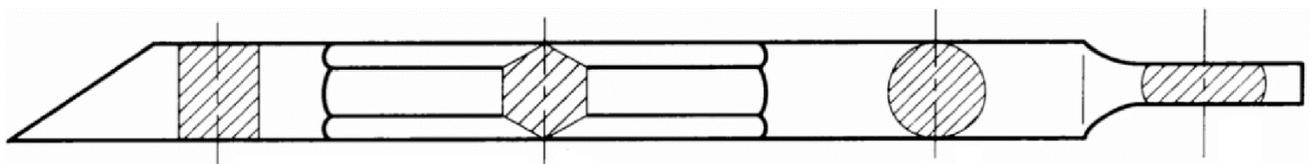
### Section sortie

Une section sortie est placée le plus souvent sur l'axe du plan de coupe ; dans ce cas, l'inscription du plan de coupe peut être omise.



### Section rabattue

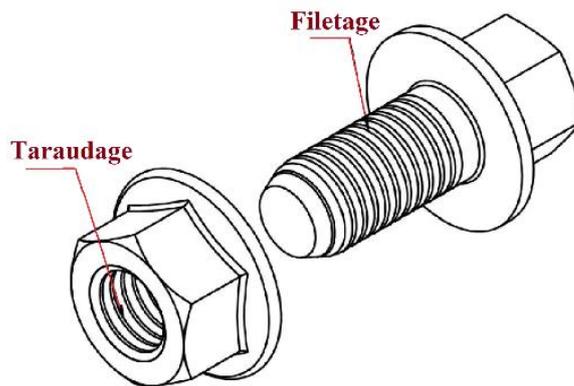
Une section rabattue est dessinée directement sur la vue choisie en traits fins. Par soucis de clarté, les formes apparaissant sous la section rabattue sont supprimées. L'indication du plan de coupe est généralement inutile.



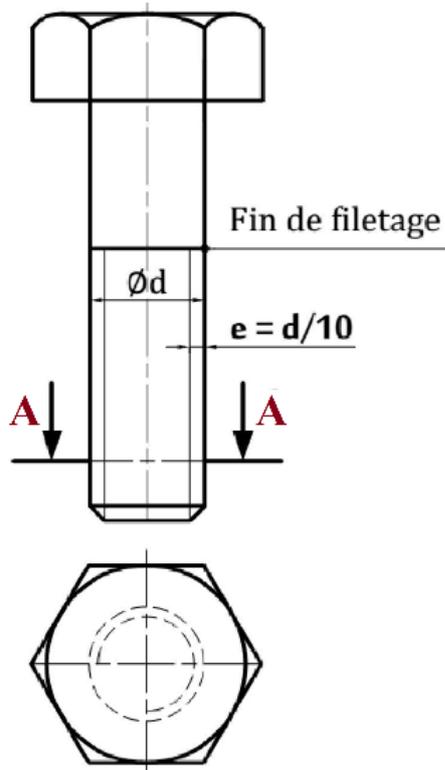
## Filetage et taraudage

Un filetage est obtenu à partir d'un arbre ou d'un alésage sur lequel ont été réalisées une ou plusieurs rainures hélicoïdales. La partie pleine restante est appelée **filet**.

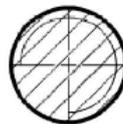
On dit qu'une **tige est fileté**e et qu'un **trou est taraudé**.



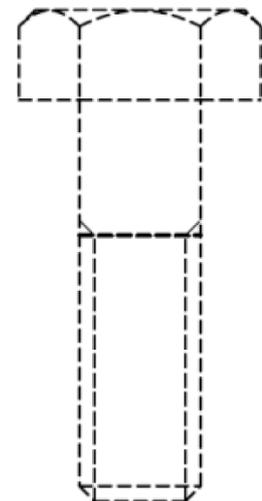
### Représentation d'un filetage



### Section A-A

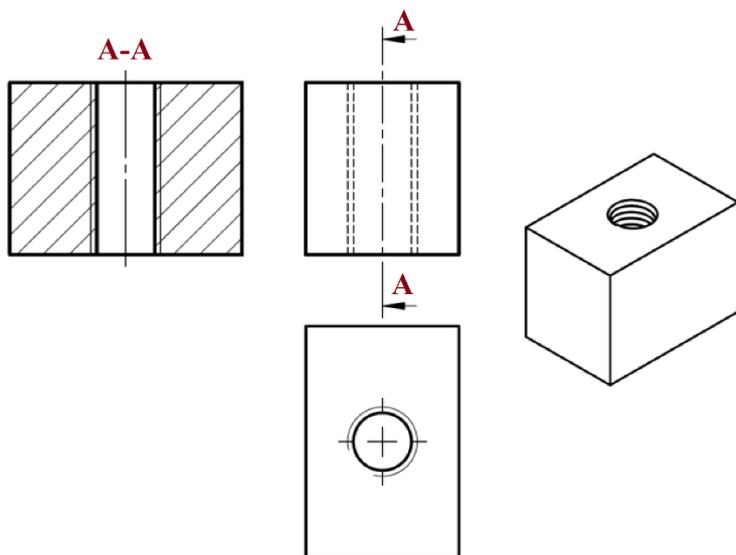


### Vis cachée

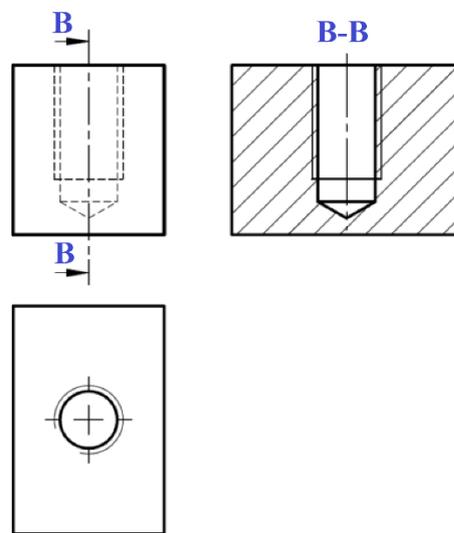


## Représentation d'un taraudage

### Taraudage débouchant

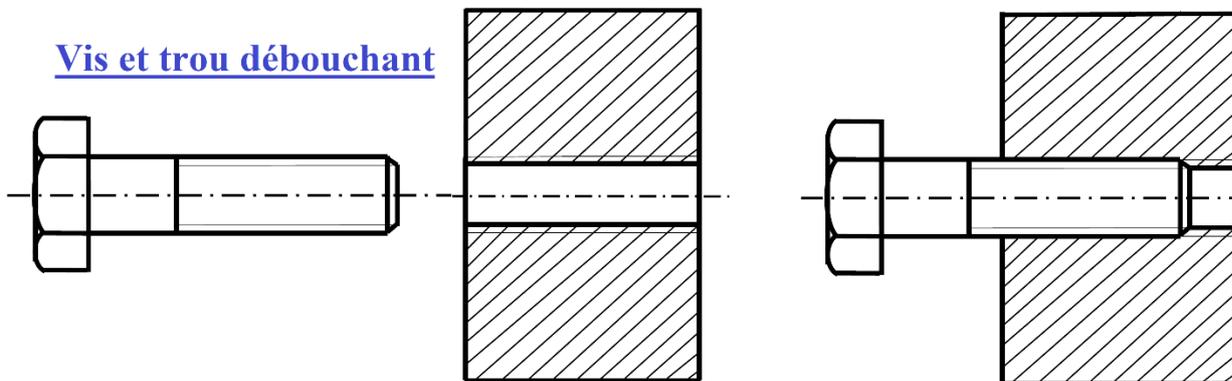


### Taraudage borgne

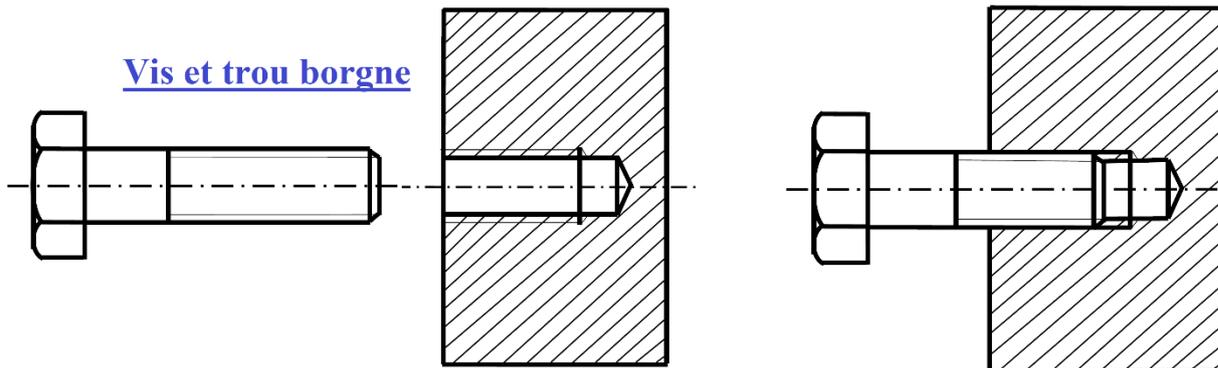


## Assemblage filetage-taraudage

### Vis et trou débouchant



### Vis et trou borgne



## Tolérances et ajustements

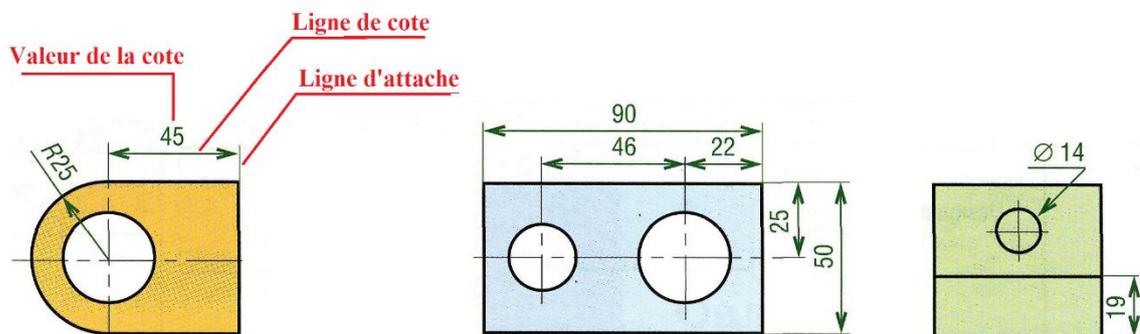
### Cotation dimensionnelle

La cotation dimensionnelle est l'indication, sur le dessin, de toutes les dimensions permettant de définir complètement et sans ambiguïté un objet.

Les cotes indiquées sur le dessin correspondent toujours aux dimensions réelles de la pièce, et ce, peu importe l'échelle utilisée.

Pour tracer une cote, on utilise :

- Une **ligne de cote** et des **lignes d'attache**, en trait continu fin.
- Une **valeur** de la cote en **mm**. Cette valeur est écrite au milieu et :
  - Au-dessus si la ligne de cote est horizontale.
  - A gauche et orientée vers le haut si la ligne de cote est verticale

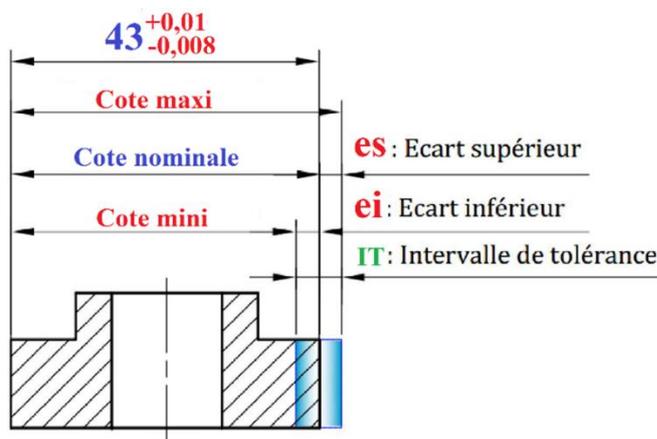


### Tolérancement

#### Tolérance

A cause de l'incertitude due à l'imprécision des méthodes de fabrication, l'indication d'une cote ne suffit pas. On indique donc, en plus de la cote nominale (cote théorique), l'intervalle dans lequel pourra varier la cote réelle.

La désignation d'une **cote tolérancée** précise la cote nominale et les écarts supérieurs (**es**) et inférieurs (**ei**) permettant de déterminer les valeurs **maxi** et **mini** admissibles.



Cote nominale  $C_{nom} = 43$

Ecart supérieur  $es = 0,01$

Ecart inférieur  $ei = -0,008$

Cote maximale  $C_{max} = C_{nom} + es = 43,01$

Cote minimale  $C_{min} = C_{nom} + ei = 42,992$

Intervalle de tolérance  $IT = C_{max} - C_{min}$

$= es - ei = 0,018$

Tolérancement normalisé (norme ISO)

Afin de standardiser les notations des tolérances et leurs valeurs, la norme ISO d'une cote remplace l'écriture chiffrée par une autre normalisée, où on définit :

- La position de l'IT par rapport à la dimension nominale par une lettre **MAJUSCULE** pour un **ALESAGE** et une lettre **minuscule** pour un **arbre**.
- La qualité, qui détermine la valeur de l'IT, par un nombre allant de 1 à 16.

On entend par alésage le contenant et par arbre le contenu.

Exemple : pour un alésage de tolérance **H7**, **H** représente la position de la tolérance et **7** représente sa qualité.

Pour décoder une cote ISO, il existe des tableaux de tolérances pour arbres et alésages :

Extraits de tolérances ISO pour alésage (en microns : 1 μm = 0,001 mm)										Extraits de tolérances ISO pour arbres (en microns : 1 μm = 0,001 mm)											
au-delà de à (inclus)	1	3	6	10	18	30	50	80	120	au-delà de à (inclus)	1	3	6	10	18	30	50	80	120		
	3	6	10	18	30	50	80	120	180		3	6	10	18	30	50	80	120	180		
D10	ES	+60	+78	+98	+120	+149	+180	+220	+260	+305	d9	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145
	EI	+20	+30	+40	+50	+65	+80	+100	+120	+145		ei	-45	-60	-76	-93	-117	-142	-174	-207	-245
E9	ES	+39	+50	+61	+75	+92	+112	+134	+159	+185	d10	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145
	EI	+14	+20	+25	+32	+40	+50	+60	+72	+85		ei	-60	-78	-98	-120	-149	-180	-220	-260	-305
F8	ES	+20	+28	+35	+43	+53	+64	+76	+90	+106	d11	es	-20	-30	-40	-50	-65	-80	-100	-120	-145
	EI	+6	+10	+13	+16	+20	+25	+30	+36	+43		ei	-80	-105	-130	-160	-195	-240	-290	-340	-395
G7	ES	+12	+16	+20	+24	+28	+34	+40	+47	+54	e7	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85
	EI	+2	+4	+5	+6	+7	+9	+10	+12	+14		ei	-24	-32	-40	-50	-61	-75	-90	-107	-125
H6	ES	+6	+8	+9	+11	+13	+16	+19	+22	+25	e8	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-28	-38	-47	-59	-73	-89	-106	-126	-148
H7	ES	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	e9	es	-14	-20	-25	-32	-40	-50	-60	-72	-85
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-39	-50	-61	-75	-92	-112	-134	-159	-185
H8	ES	+14	+18	+22	+27	+33	+39	+46	+54	+63	f6	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-12	-18	-22	-27	-33	-41	-49	-58	-68
H9	ES	+25	+30	+36	+43	+52	+62	+74	+87	+100	f7	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-16	-22	-28	-34	-41	-50	-60	-71	-83
H10	ES	+40	+48	+58	+70	+84	+100	+120	+140	+160	f8	es	-6	-10	-13	-16	-20	-25	-30	-36	-43
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-20	-28	-35	-43	-53	-64	-76	-90	-106
H11	ES	+60	+75	+90	+110	+130	+160	+190	+220	+250	g5	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-6	-9	-11	-14	-16	-20	-23	-27	-32
H12	ES	100	+120	+150	+180	+210	+250	+300	+350	+400	g6	es	-2	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-8	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39
H13	ES	140	+180	+220	+270	+330	+390	+460	+540	+630	h5	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EI	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-4	-5	-6	-8	-9	-11	-13	-15	-18
J7	ES	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+18	+22	+26	h6	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EI	-6	-6	-7	-8	-9	-11	-12	-13	-14		ei	-6	-8	-9	-11	-13	-16	-19	-22	-25
JS13	±E	±70	±90	±110	±135	±165	±195	±230	±270	±315	h7	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K6	ES	+0	+2	+2	+2	+2	+3	+4	+4	+4		ei	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40
	EI	-6	-6	-7	-9	-11	-13	-15	-18	-21	h8	es	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K7	ES	0	+3	+5	+6	+6	+7	+9	+10	+12		ei	-14	-18	-22	-27	-33	-39	-46	-54	-63
	EI	-10	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-25	-28	j6	es	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+12	+13	+14
M7	ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0		ei	-2	-2	-2	-3	-4	-5	-7	-9	-11
	EI	-12	-12	-15	-18	-21	-25	-30	-35	-40	j7	es	+6	+8	+10	+12	+13	+15	+18	+20	+22
N7	ES	-4	-4	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12		ei	-4	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-15	-18
	EI	-14	-16	-19	-23	-28	-33	-39	-45	-52	js5	±E	±2	±2,5	±3	±4	±4,5	±5,5	±6,5	±7,5	±9
P7	ES	-6	-8	-9	-11	-14	-17	-21	-24	-28		js6	±3	±4	±4,5	±5,5	±6,5	±8	±9,5	±11	±12,5
	EI	-16	-20	-24	-29	-35	-42	-51	-59	-68	k5	es	+4	+6	+7	+9	+11	+13	+15	+18	+21
												ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3
											k6	es	+6	+9	+10	+12	+15	+18	+21	+25	+28
												ei	0	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+3	+3
											m6	es	+8	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40
												ei	+2	+4	+6	+7	+9	+9	+11	+13	+15
											m7	es	+12	+16	+21	+25	+29	+34	+41	+48	+55
												ei	+2	+4	+6	+7	+8	+9	+11	+13	+15
											n5	es	+8	+13	+16	+20	+24	+28	+33	+38	+45
												ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27
											n6	es	+10	+16	+19	+23	+28	+33	+39	+45	+52
												ei	+4	+8	+10	+12	+15	+17	+20	+23	+27
											p6	es	+12	+20	+24	+29	+35	+42	+51	+59	+68
												ei	+6	+12	+15	+18	+22	+26	+32	+37	+43

Exemple

Pour un arbre de cote  $\Phi 24g6 = 24 \begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,02 \end{smallmatrix}$ ,

$d_{nom} = 24$  ;  $d_{max} = 23,993$  et  $d_{min} = 23,98$

Pour un alésage  $\Phi 16H7 = 16 \begin{smallmatrix} +0,018 \\ 0 \end{smallmatrix}$ ,

$D_{nom} = 16$  ;  $D_{max} = 16,018$  et  $D_{min} = 16$

## Ajustements

On appelle ajustement, l'assemblage entre un **arbre** et un **alésage** ayant la même dimension nominale.

La désignation d'un ajustement se fait en indiquant la dimension nominale commune suivie des tolérances respectives de l'alésage et de l'arbre.

Le **jeu** est par définition la différence de dimension entre l'alésage et l'arbre.

$$J_{\max} = \text{Alésage}_{\max} - \text{arbre}_{\min}$$

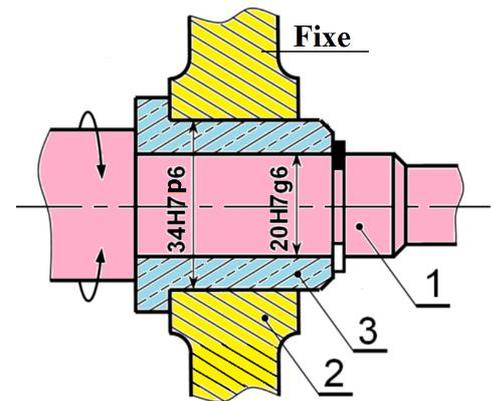
$$J_{\min} = \text{Alésage}_{\min} - \text{arbre}_{\max}$$

On distingue trois cas :

Si  $J_{\max} > 0$  et  $J_{\min} > 0$  alors l'ajustement est **avec jeu**

Si  $J_{\max} < 0$  et  $J_{\min} < 0$  alors l'ajustement est **serré**

Si  $J_{\max} > 0$  et  $J_{\min} < 0$  alors l'ajustement est **incertain**



### Exemple

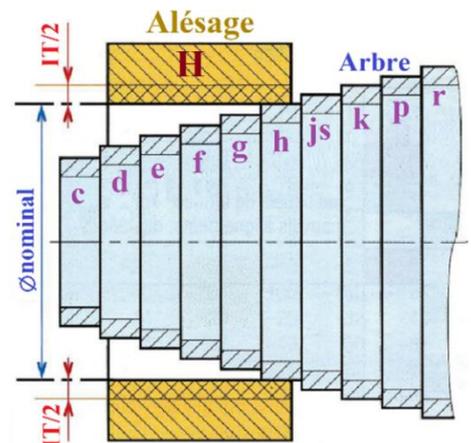
	Alésage				Arbre				Assemblage		Ajustement
	ES	EI	Dmax	Dmin	es	ei	dmax	dmin	Jmax	Jmin	
20H7g6	+0,021	0	20,021	20	-0,007	-0,02	19,993	19,98	+0,041	+0,007	Avec jeu
34H7p6	+0,025	0	34,025	34	+0,042	+0,026	34,042	34,026	-0,001	-0,042	Serré

## Système de l'alésage normal H

Ce système de tolérancement est le plus facile à mettre en œuvre. Il consiste à fixer la position de la tolérance de l'alésage à **H** (écart inférieur nul donc la dimension minimale égale à la dimension nominale) ; On fait varier uniquement la position de la tolérance de l'arbre afin d'obtenir l'ajustement souhaité.

Ainsi, si la position de la tolérance de l'arbre est :

- **c, d, e, f, g** ou **h**, on obtient un ajustement **avec jeu**
- **js, k, m**, ou **n**, on obtient un ajustement **incertain**
- **p, r, s, t, u, x**, on obtient un ajustement **avec serré**



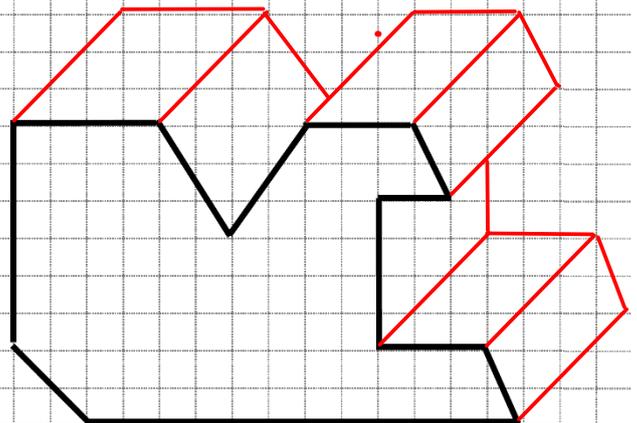
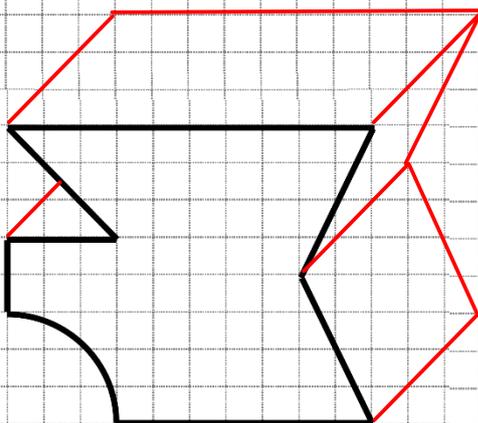
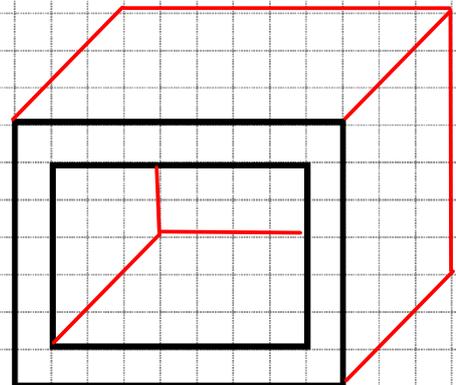
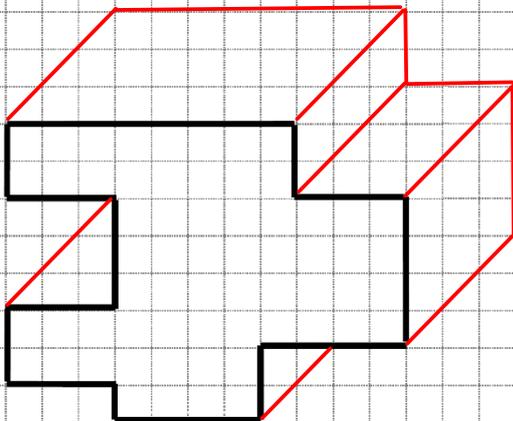
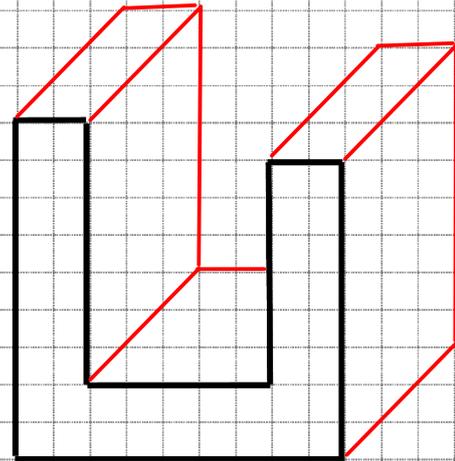
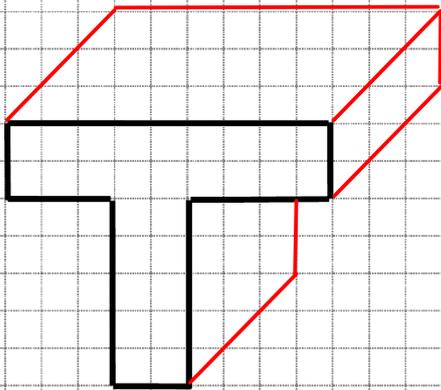
### Quelques ajustements usuels

- H8f7** → ajustement avec jeu moyen
- H7g6** → ajustement avec jeu faible (pour guidage précis)
- H7h6** → ajustement avec jeu ajusté (pour centrage et positionnement, possibilité de démontage)
- H7m6** → ajustement peu serré
- H7p6** → ajustement serré (assemblage à la presse)

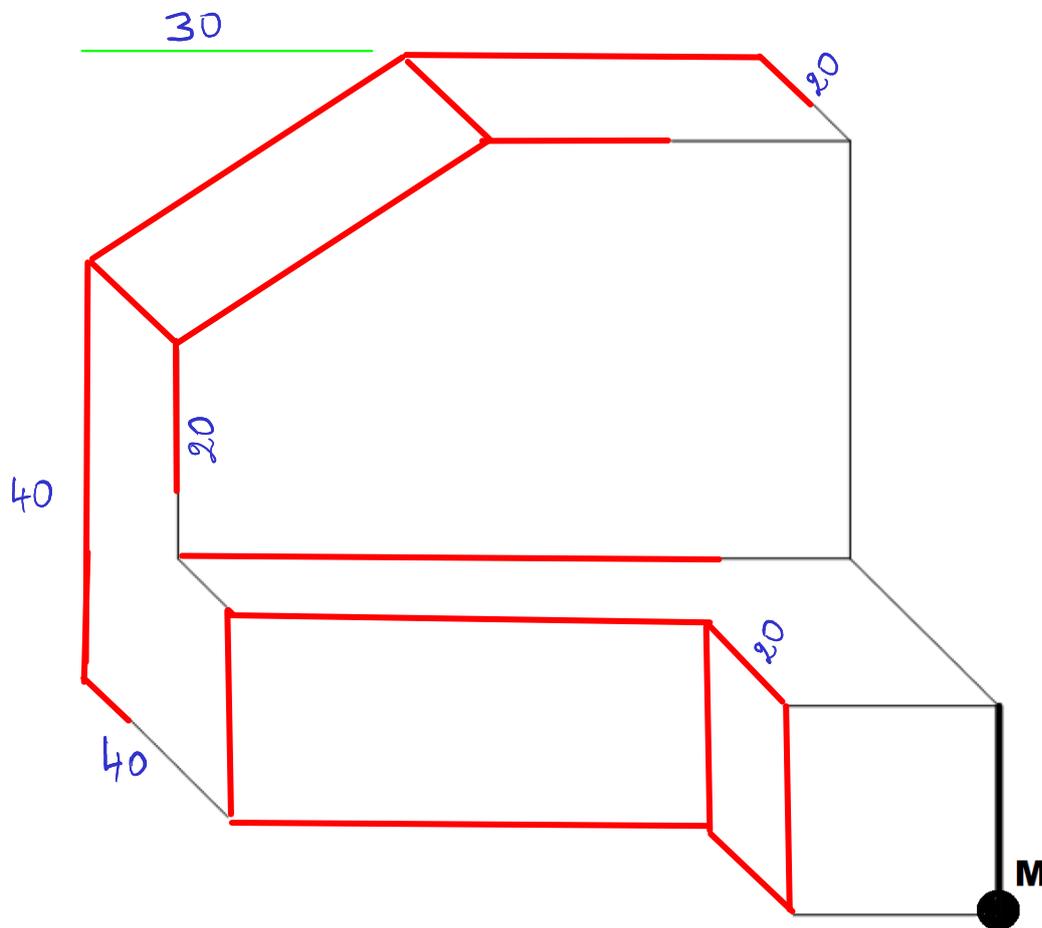
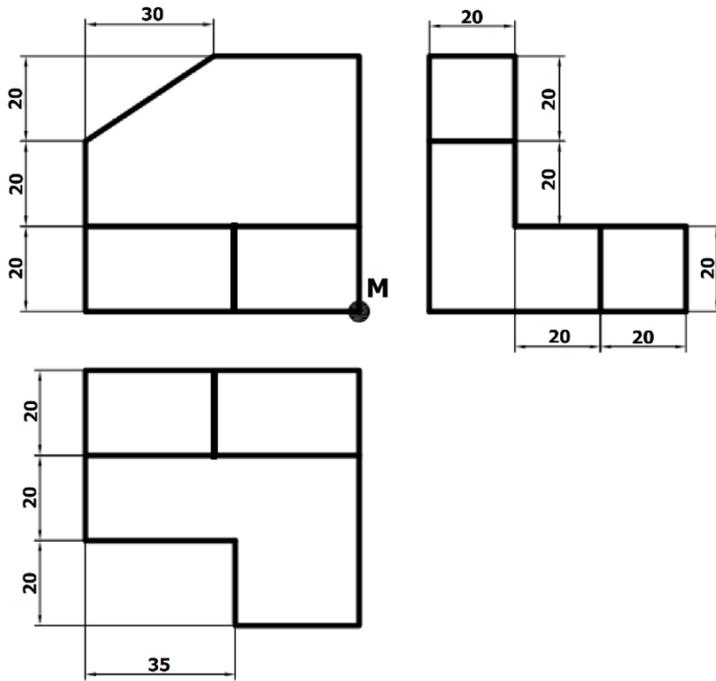
## Exercices

1. Compléter la vue en perspective cavalière de ces pièces.

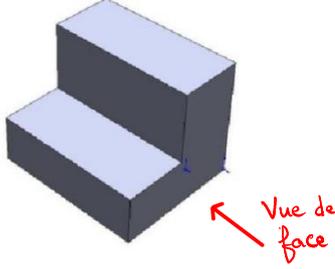
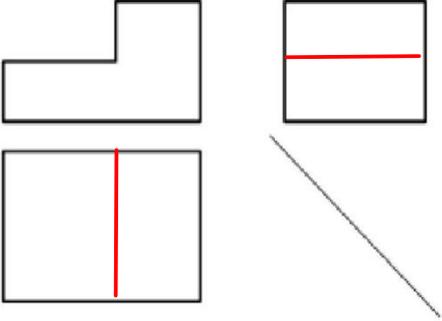
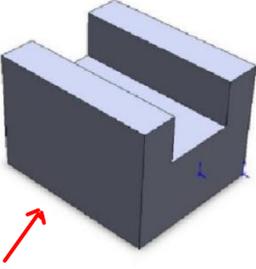
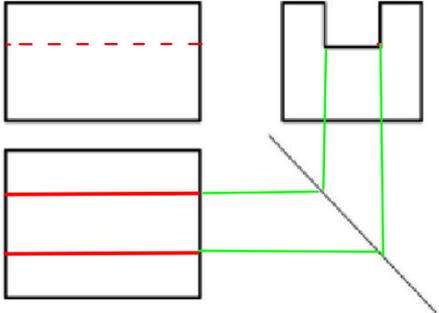
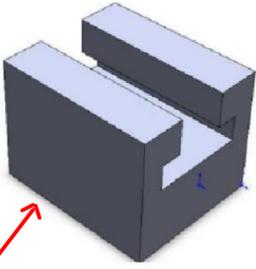
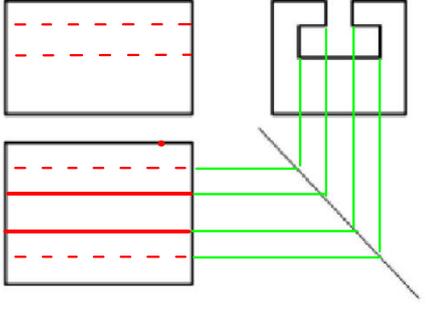
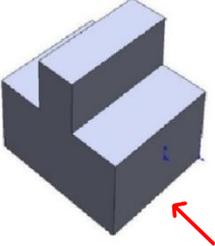
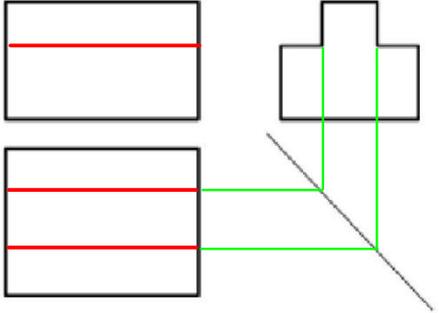
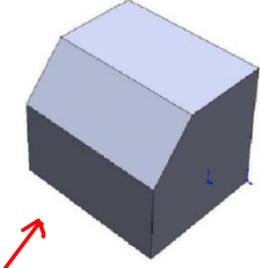
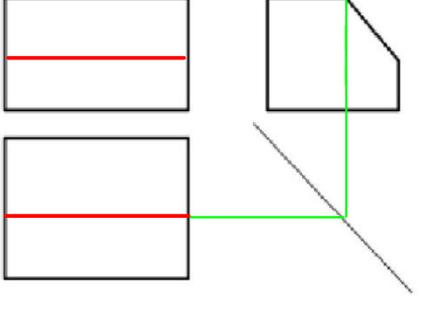
(sans les traits cachés)



2. Compléter la vue en perspective cavalière.



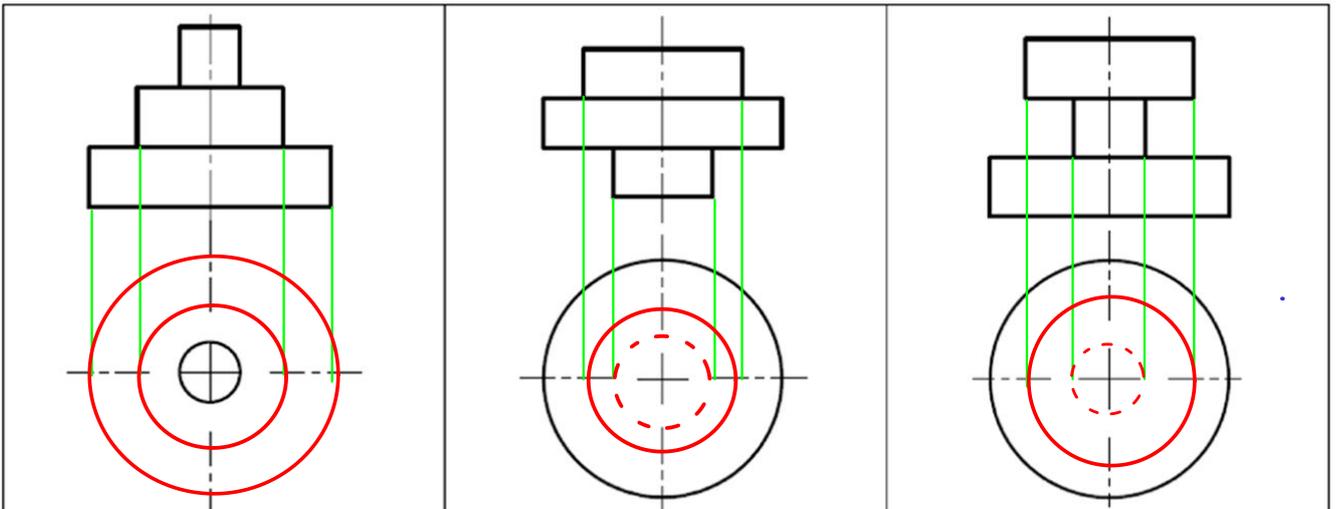
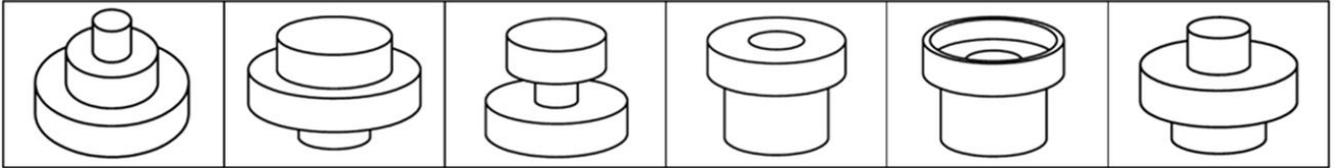
3. Compléter la projection orthogonale de ces formes usuelles.

<p><b>Entaille</b></p>		
<p><b>Rainure en U</b></p>		
<p><b>Rainure en T</b></p>		
<p><b>Tenon</b></p>		
<p><b>Chanfrein</b></p>		

4. Associer le bon numéro.

5. Repasser sur les vues, avec la couleur convenable, le point, l'arête et les faces repérées sur la perspective.

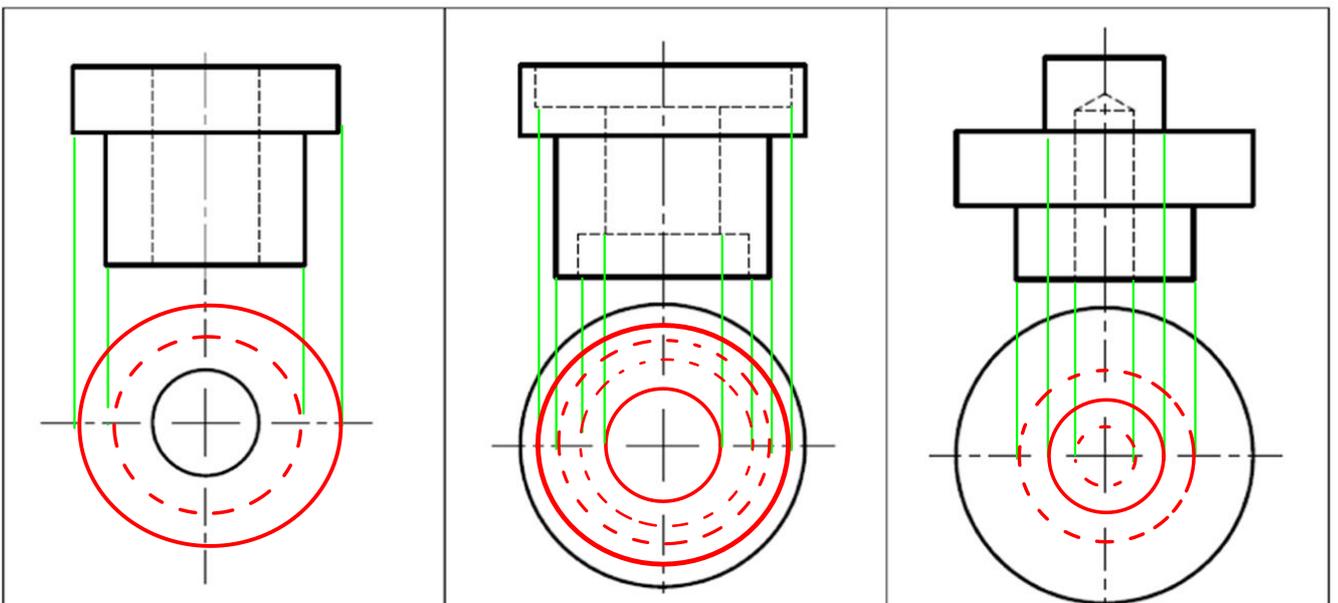
6. Pour chacune de ces pièces cylindriques, compléter la vue de dessus puis préciser le nombre de surfaces planes et le nombre de surfaces cylindriques.



Nombre de surfaces planes = 4  
Nombre de surfaces cylindriques = 3

Nombre de surfaces planes = 4  
Nombre de surfaces cylindriques = 3

Nombre de surfaces planes = 4  
Nombre de surfaces cylindriques = 3

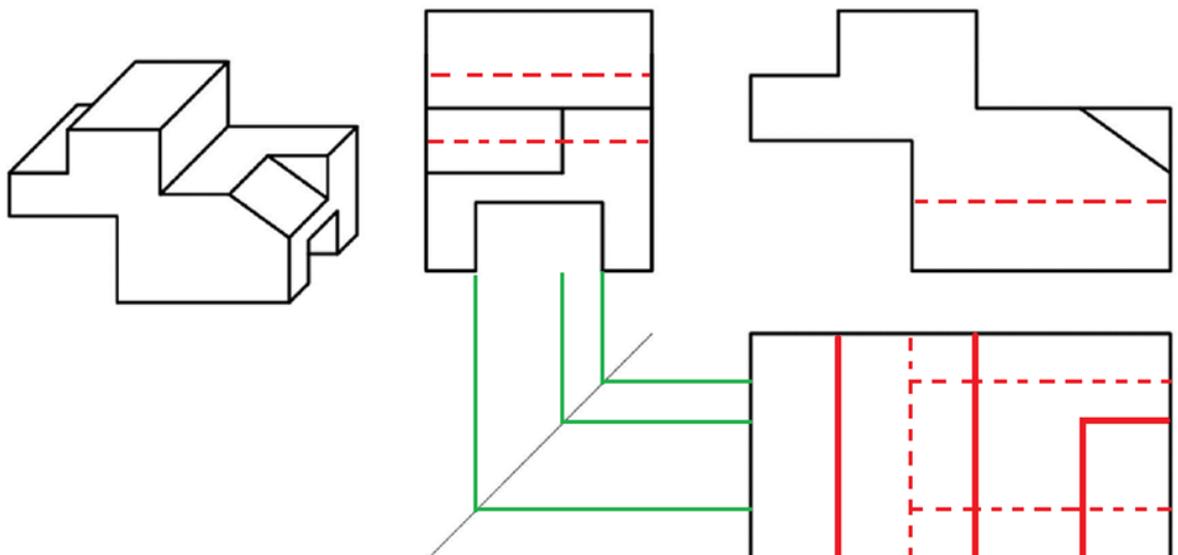
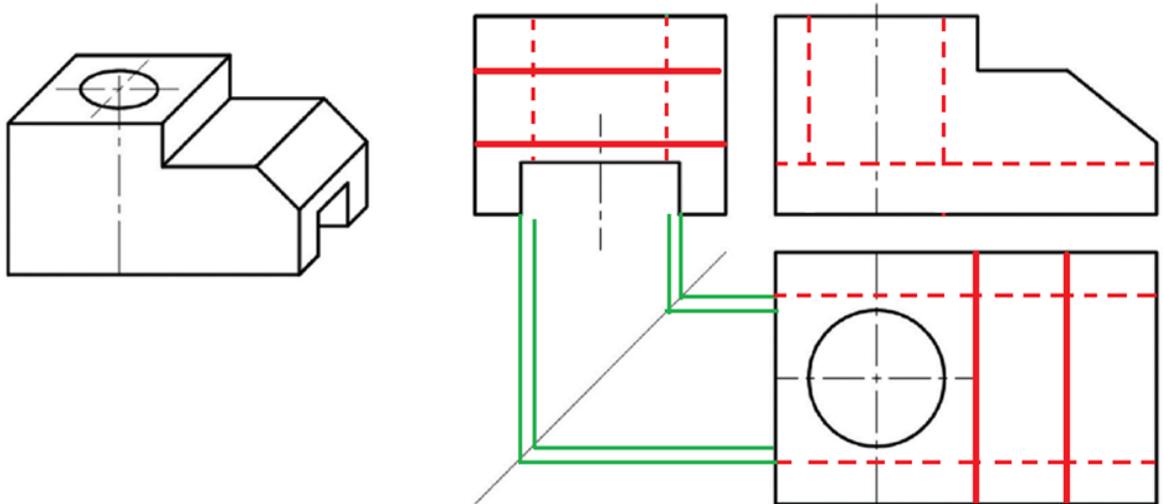
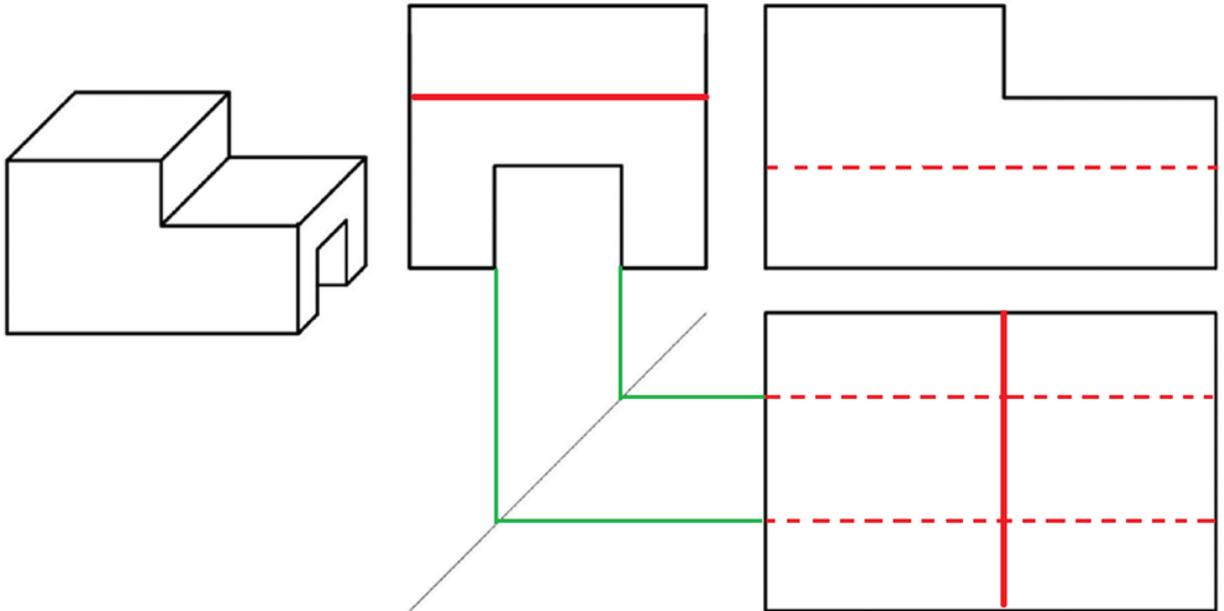


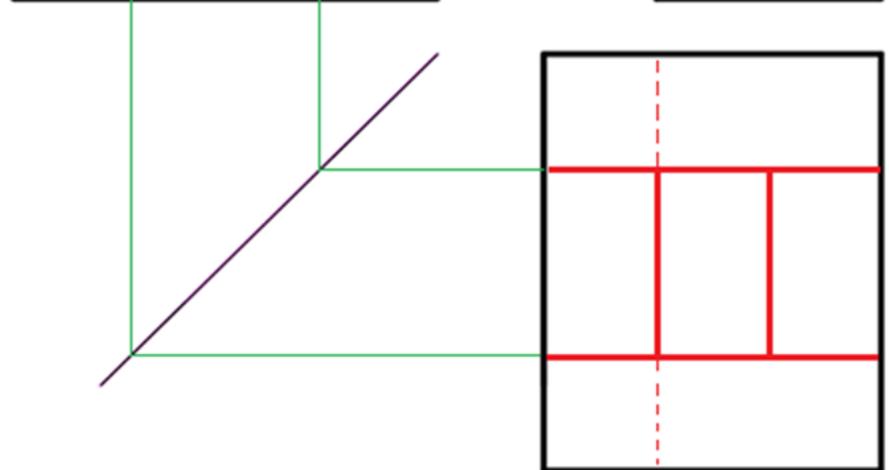
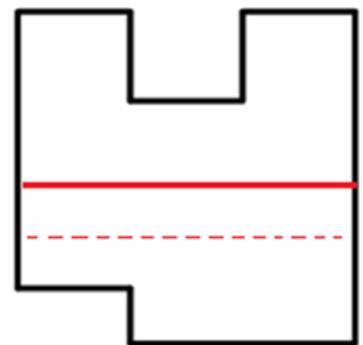
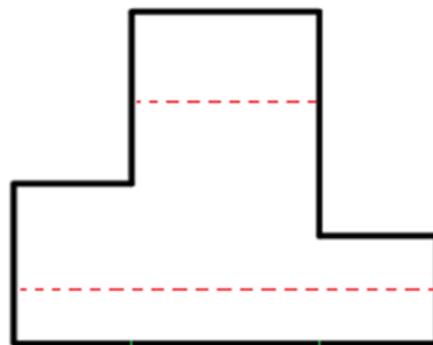
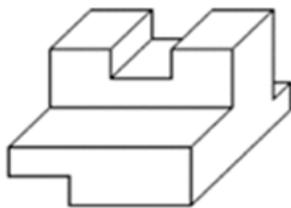
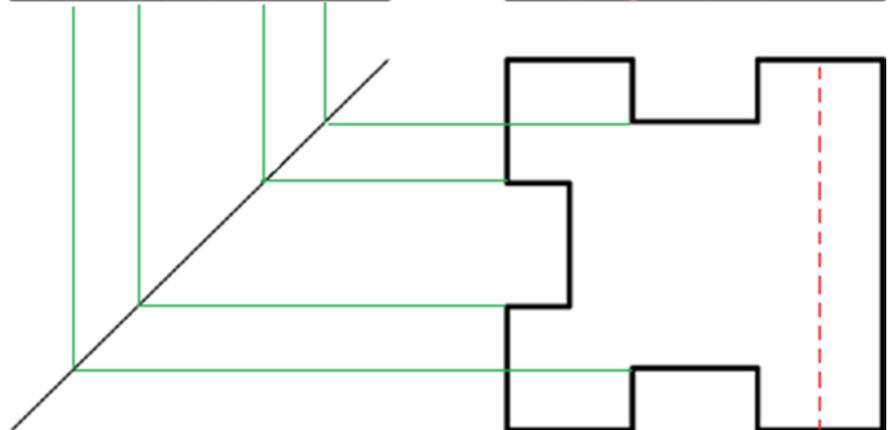
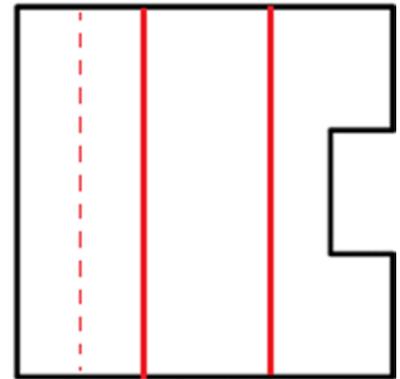
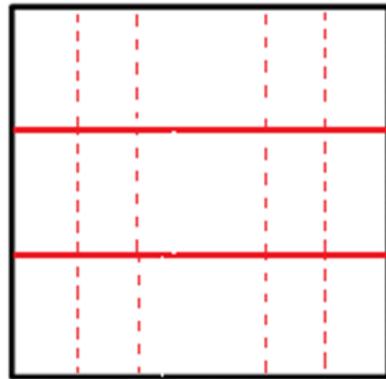
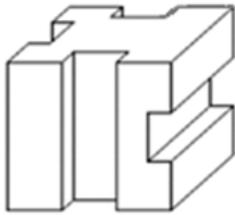
Nombre de surfaces planes = 3  
Nombre de surfaces cylindriques = 3

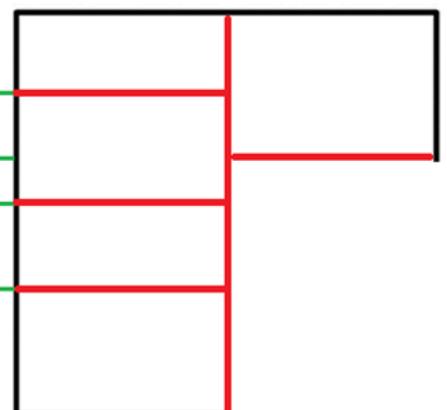
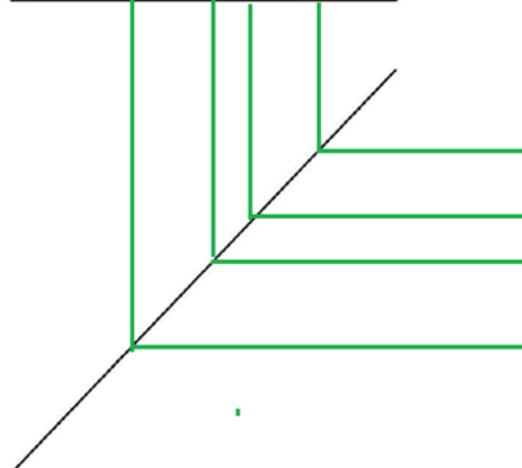
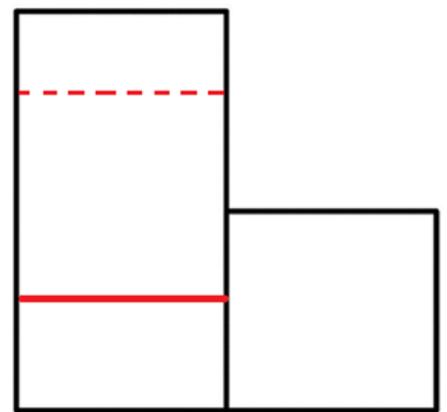
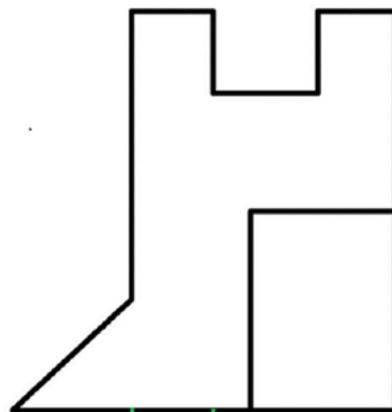
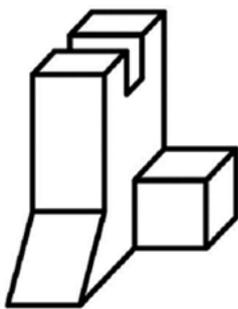
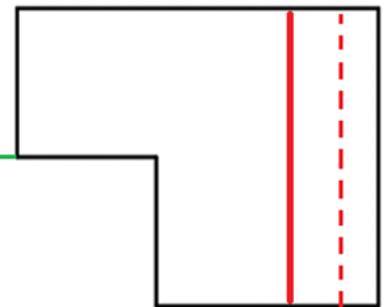
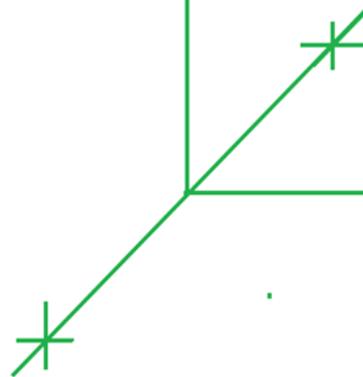
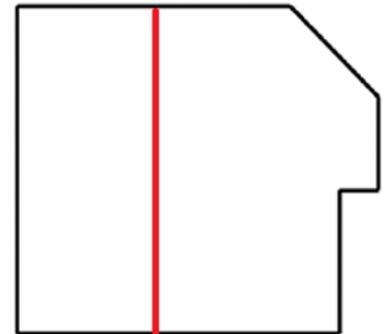
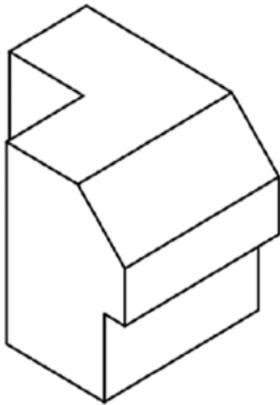
Nombre de surfaces planes = 5  
Nombre de surfaces cylindriques = 5

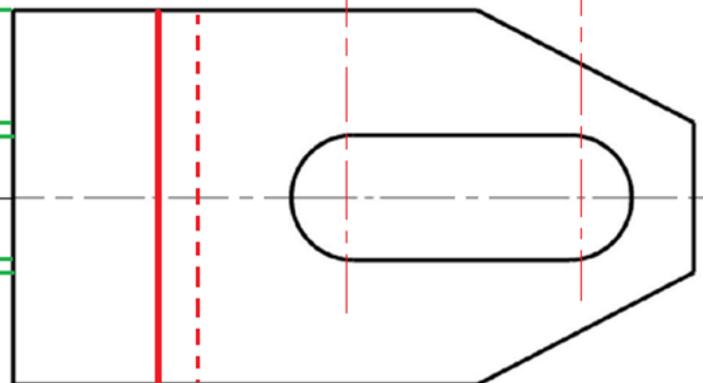
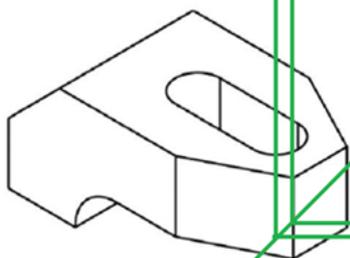
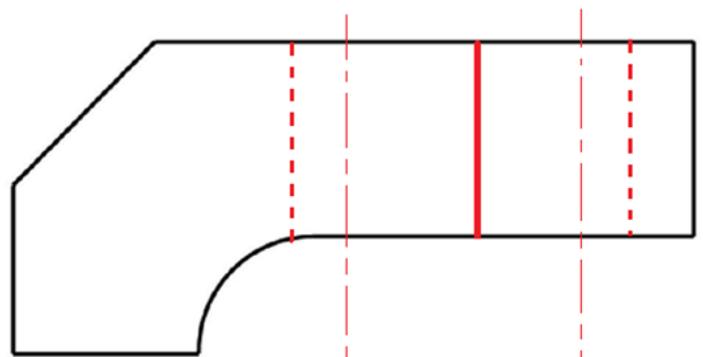
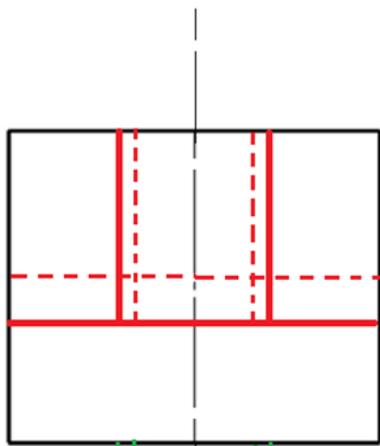
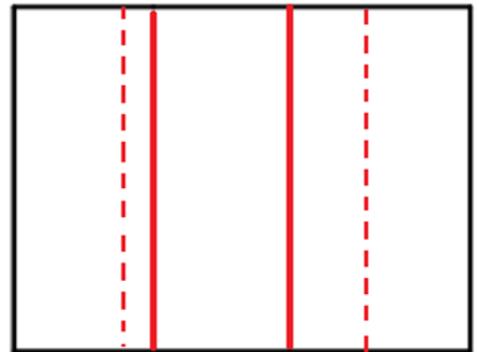
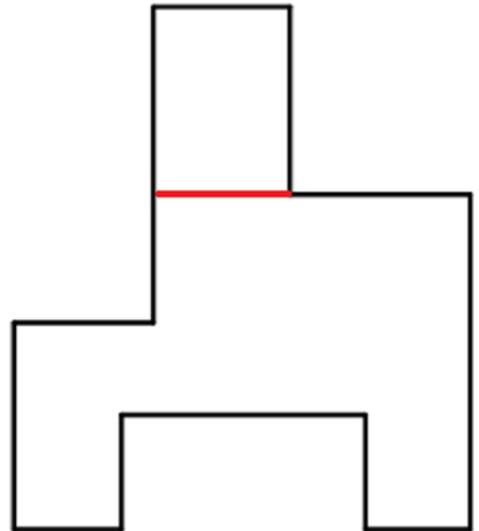
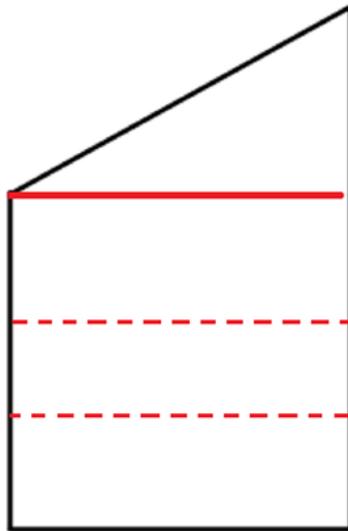
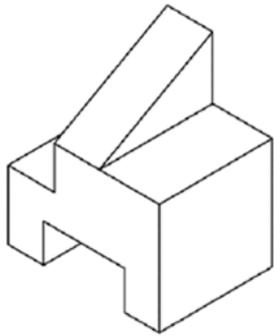
Nombre de surfaces planes = 4  
Nombre de surfaces cylindriques = 4

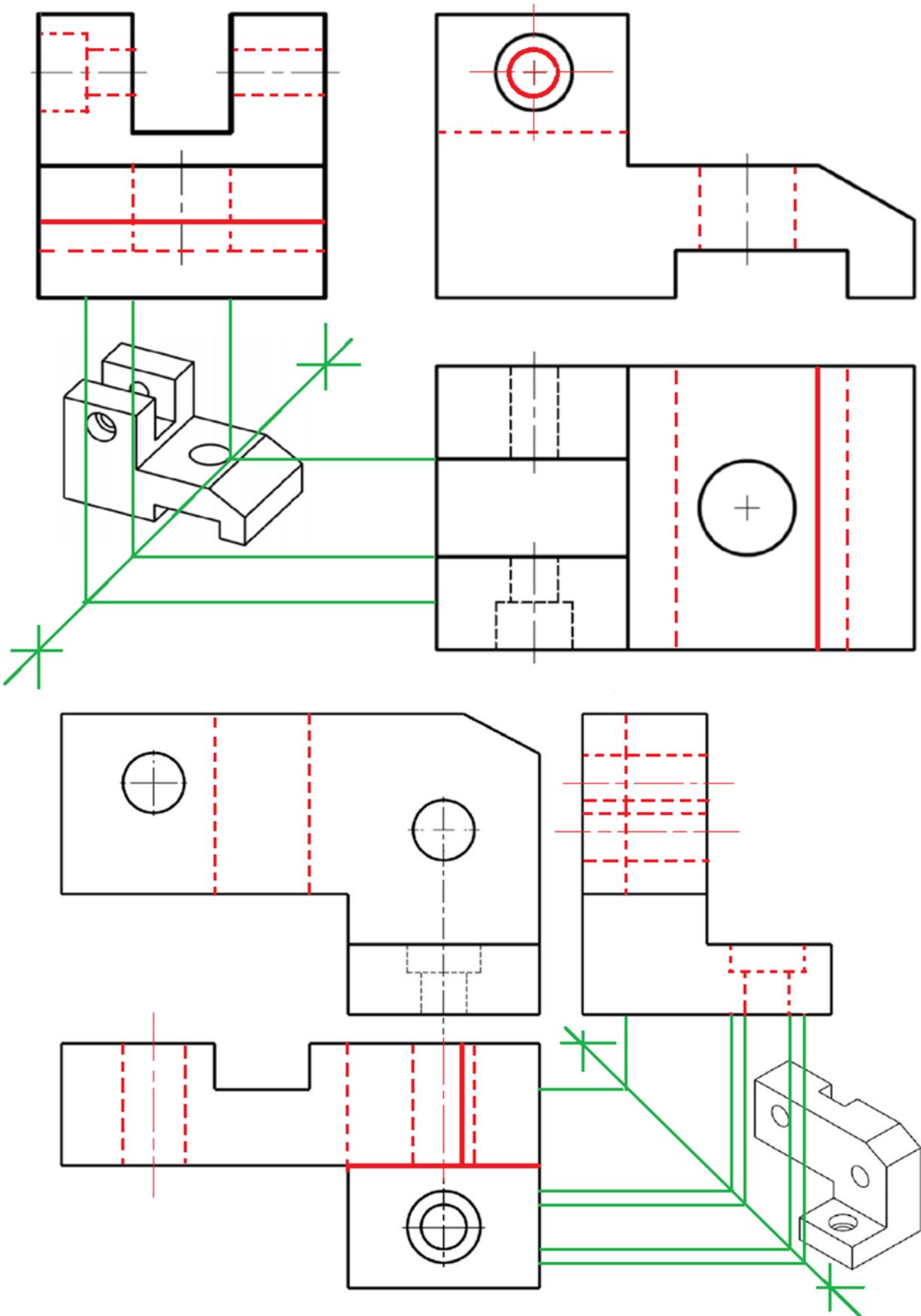
7. Compléter les vues de la projection orthogonale à partir de la vue en perspective cavalière.



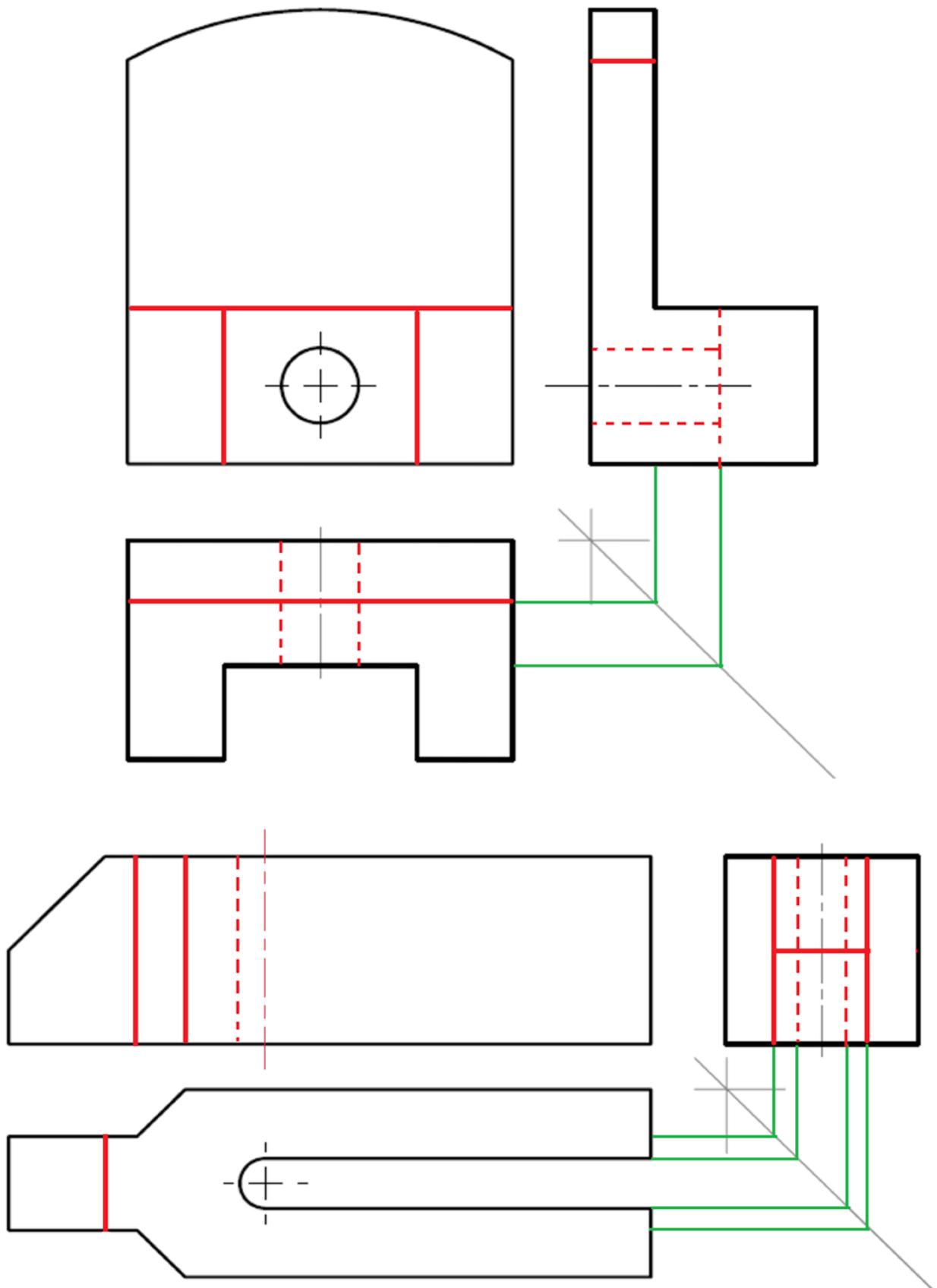


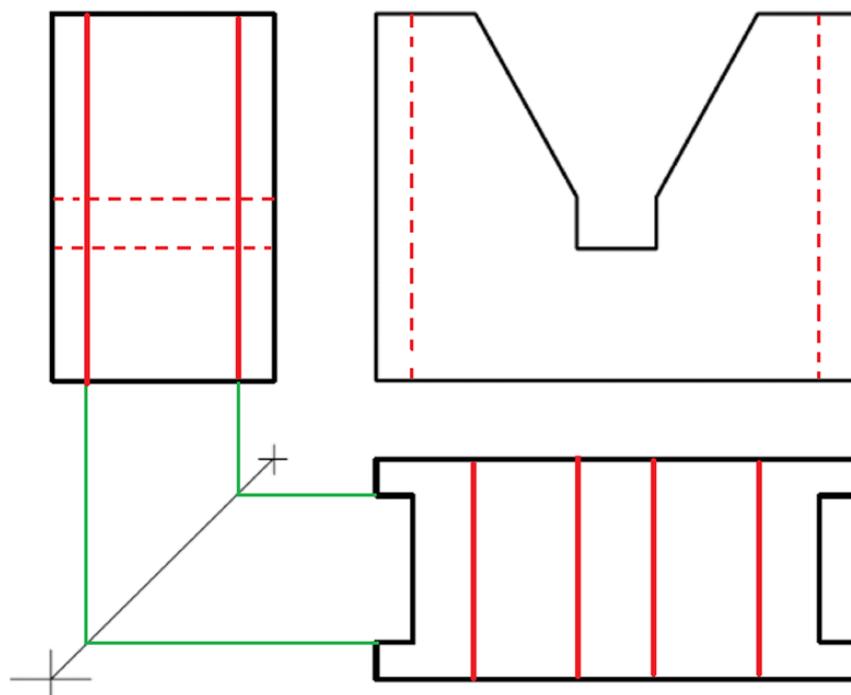
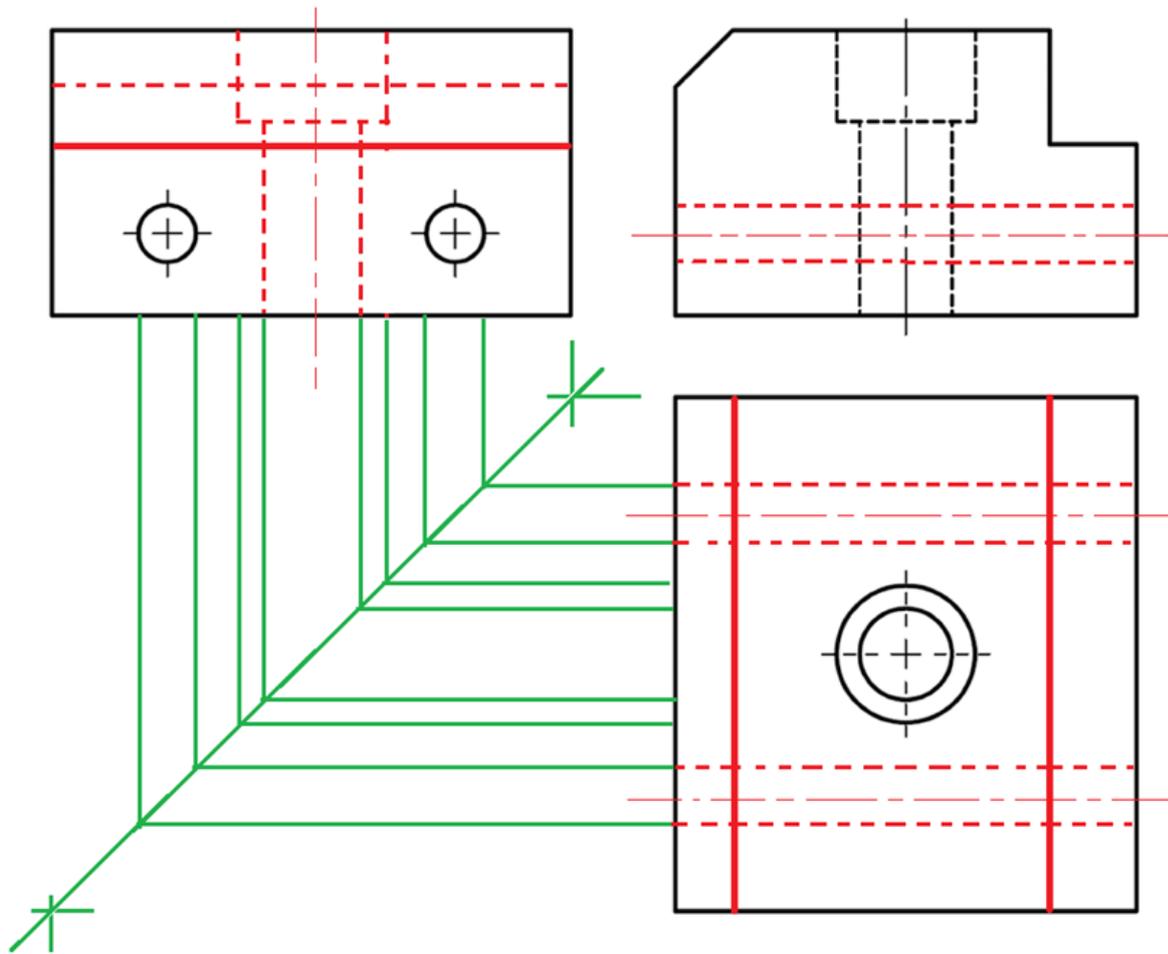


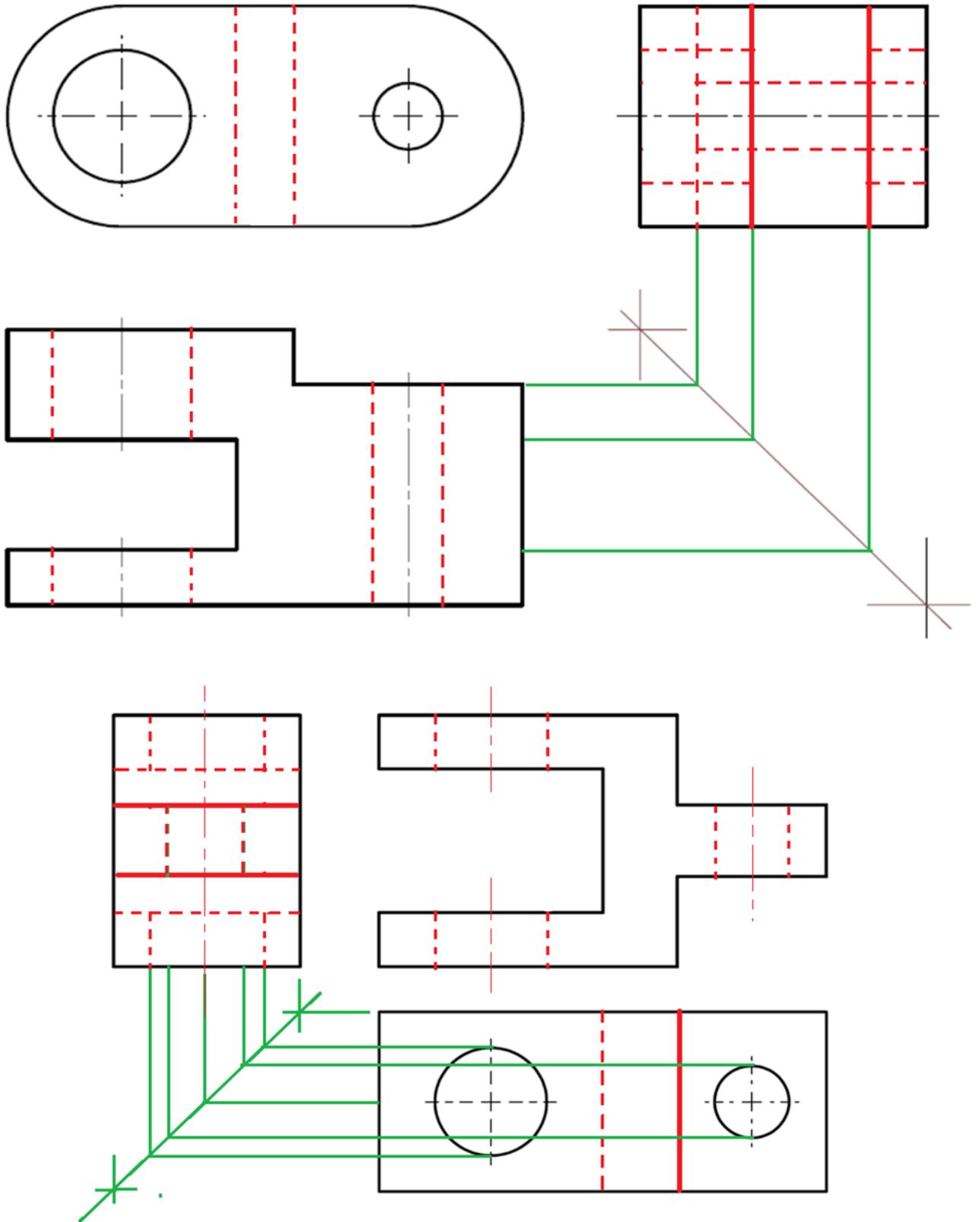




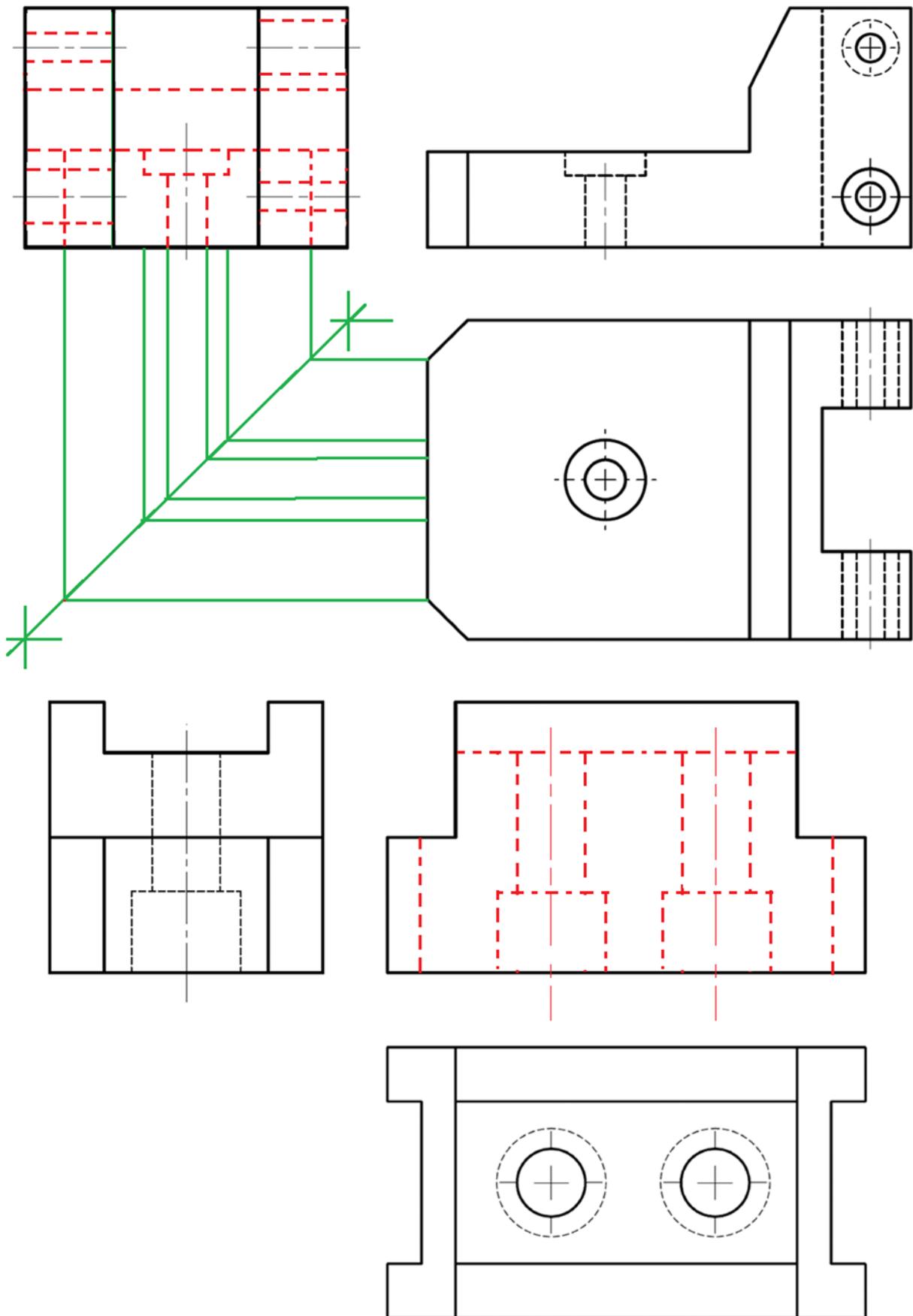
8. Compléter les vues incomplètes.

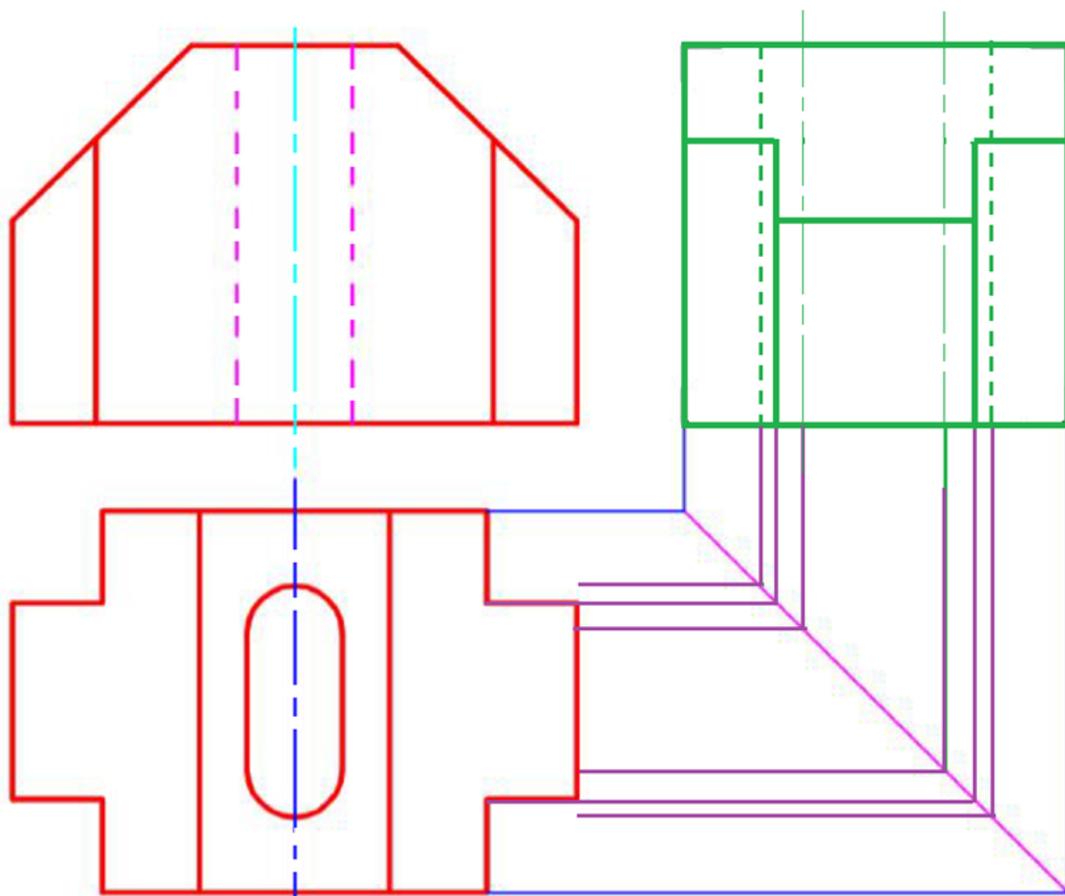
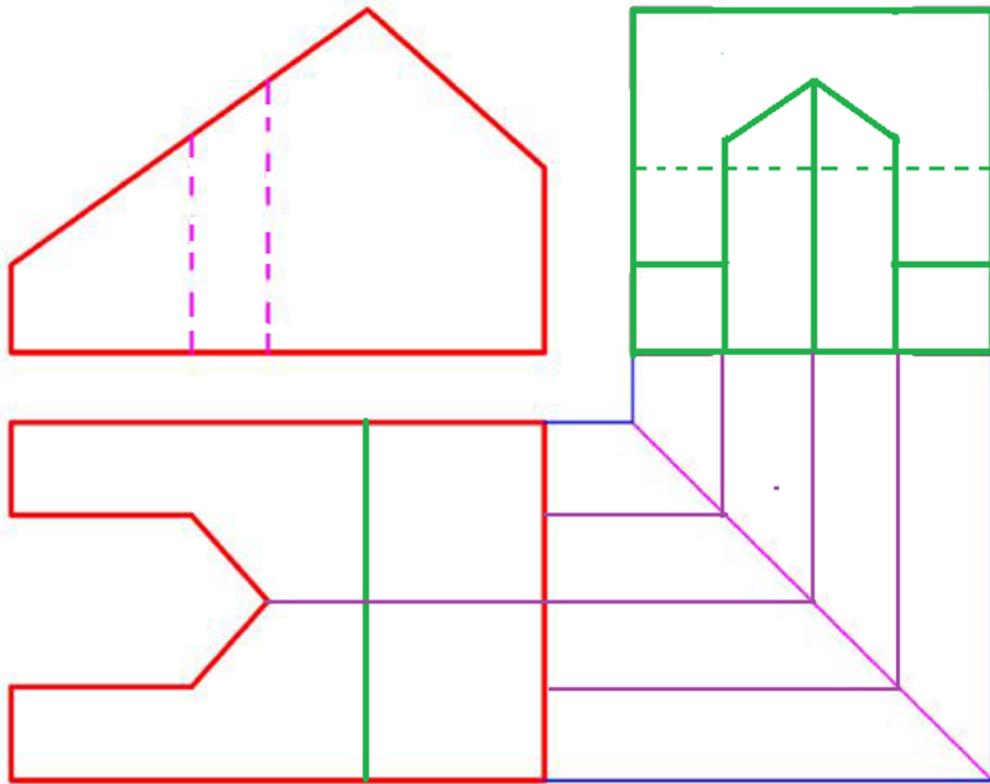




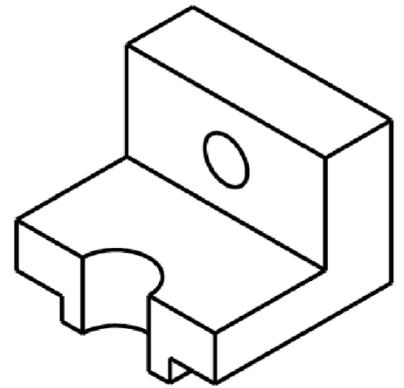
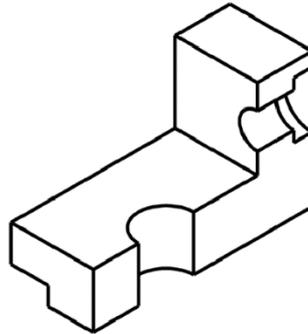
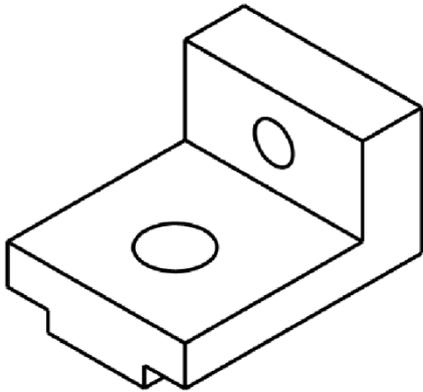


9. Compléter les vues incomplètes.

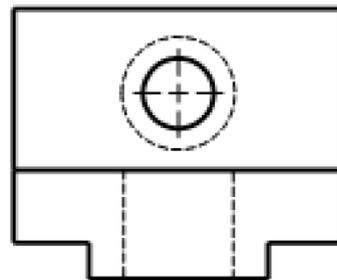
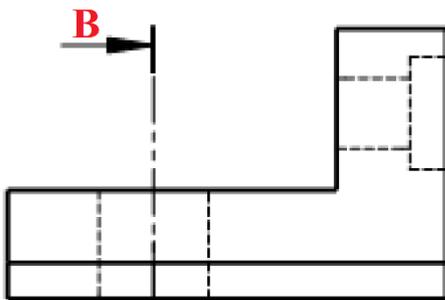
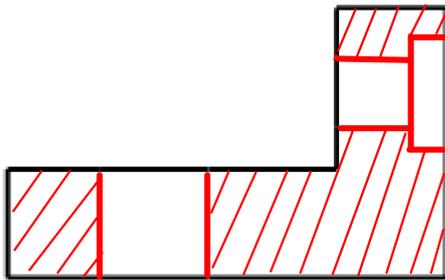




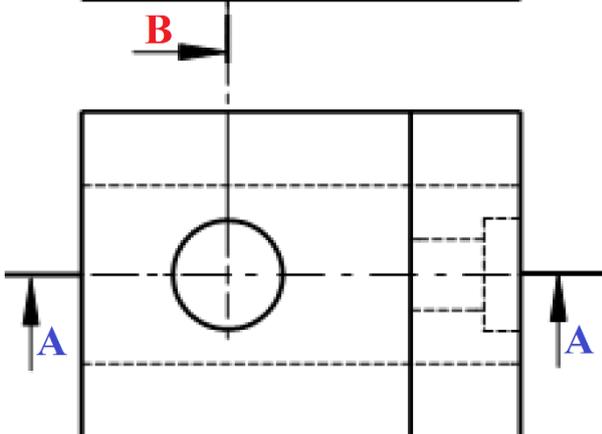
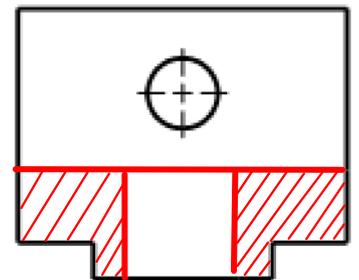
10. Compléter les vues en coupe.

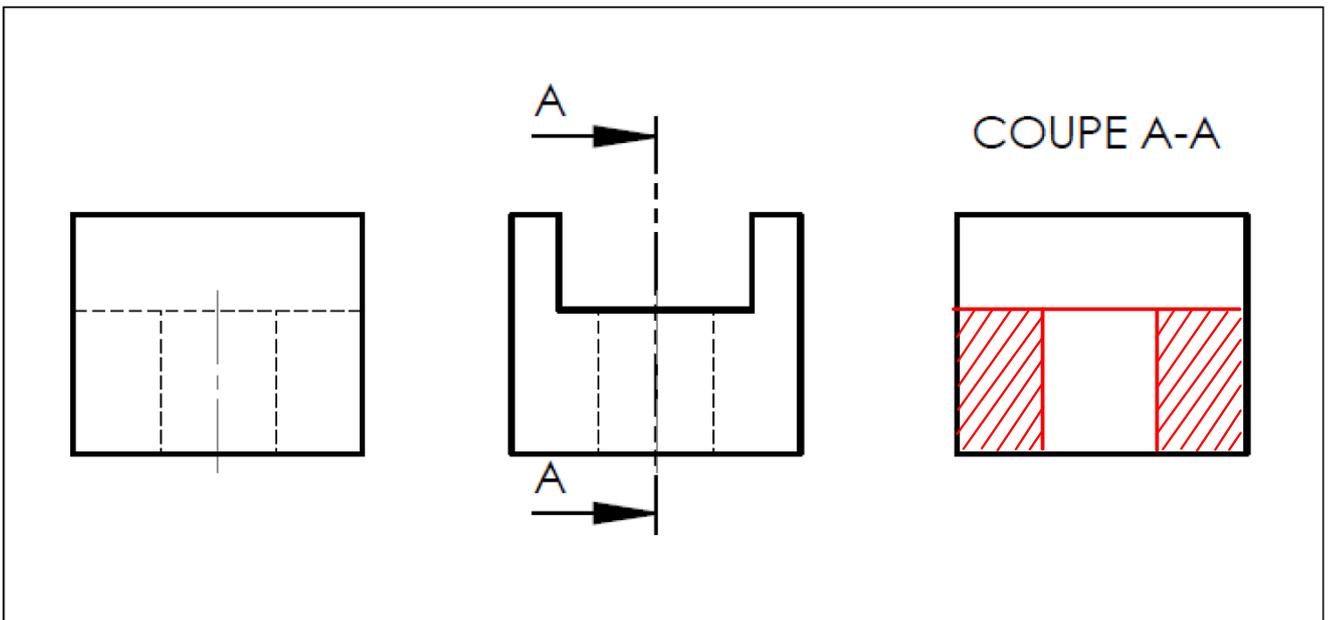
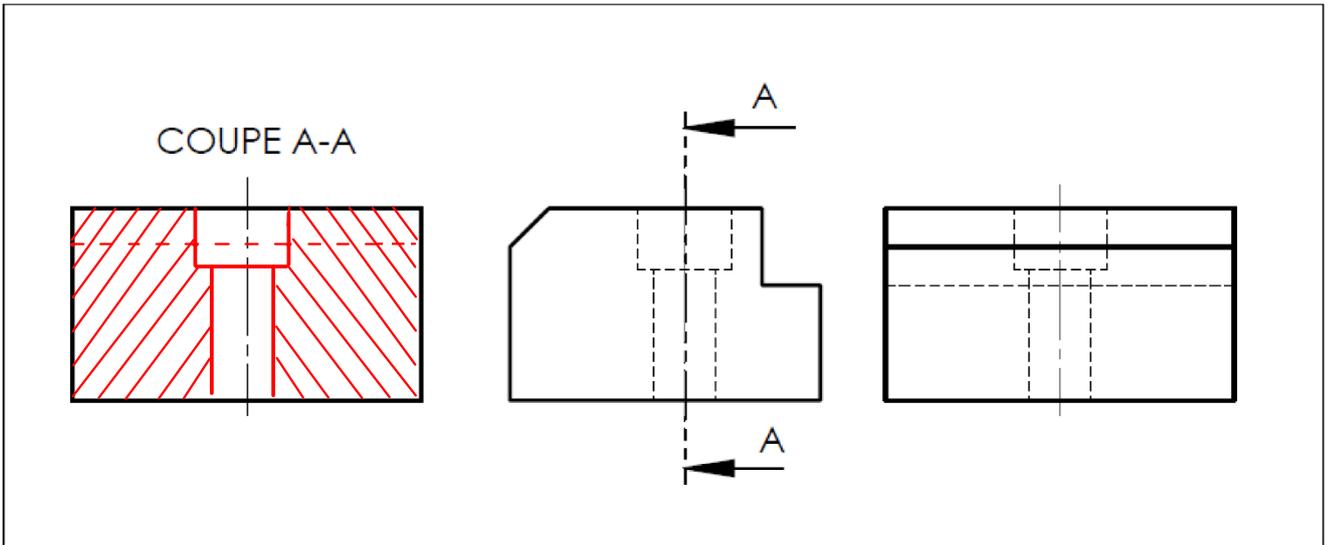
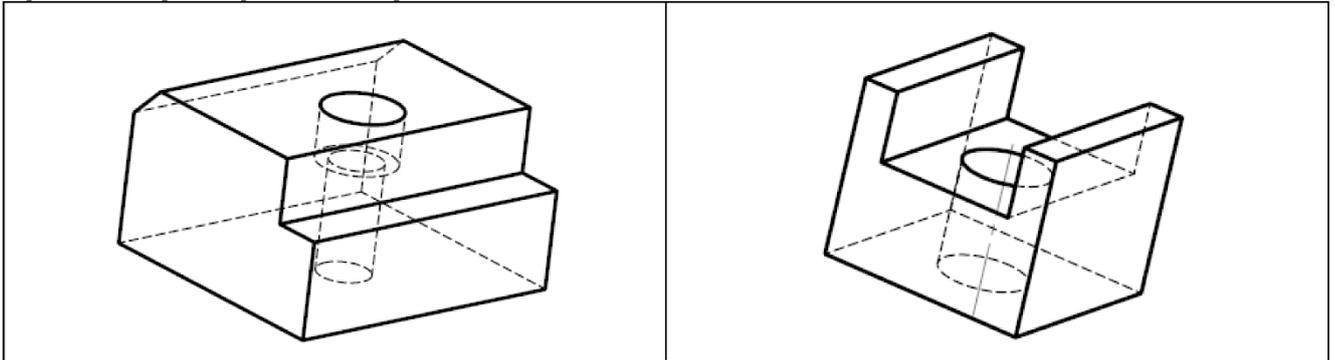


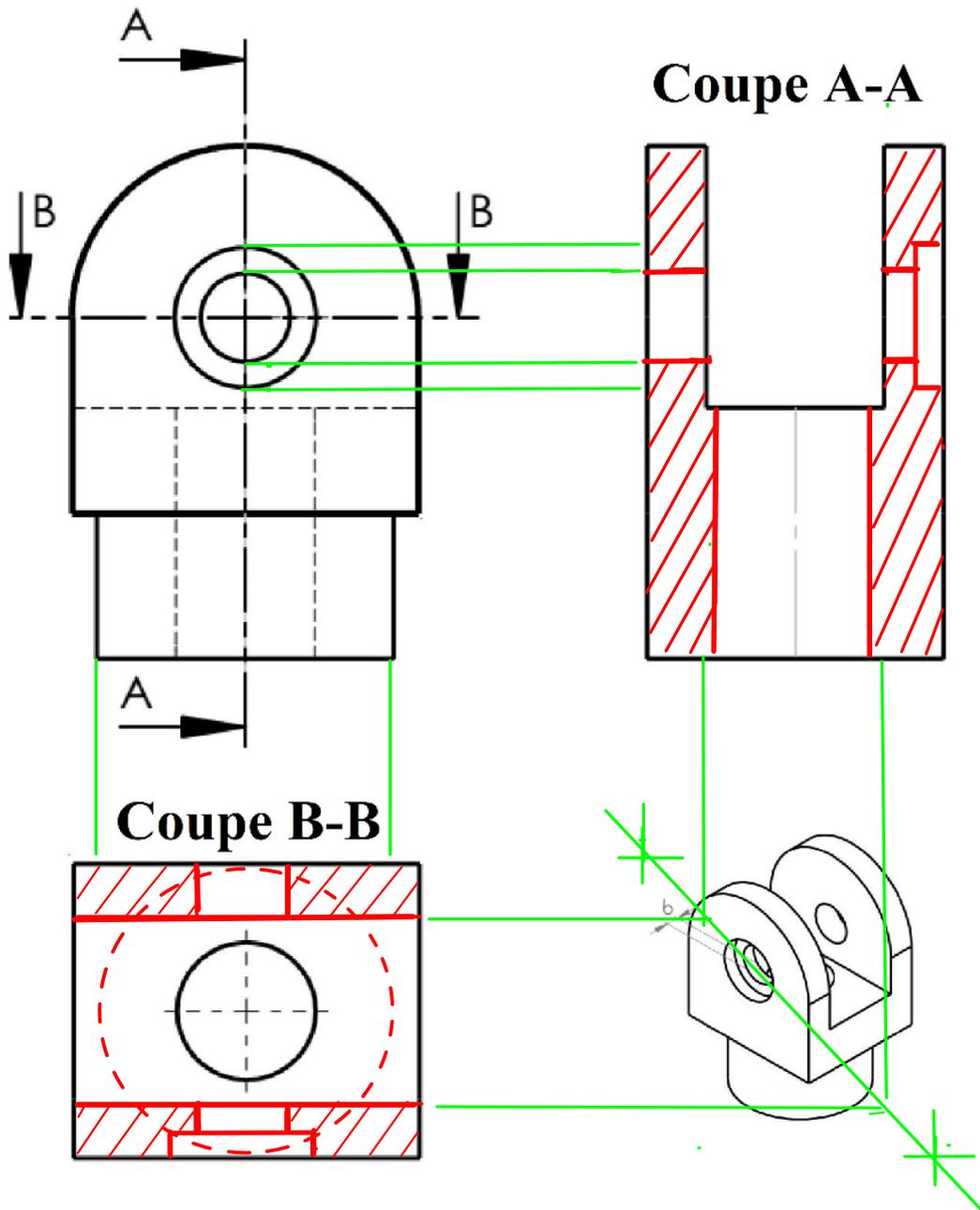
Coupe A-A



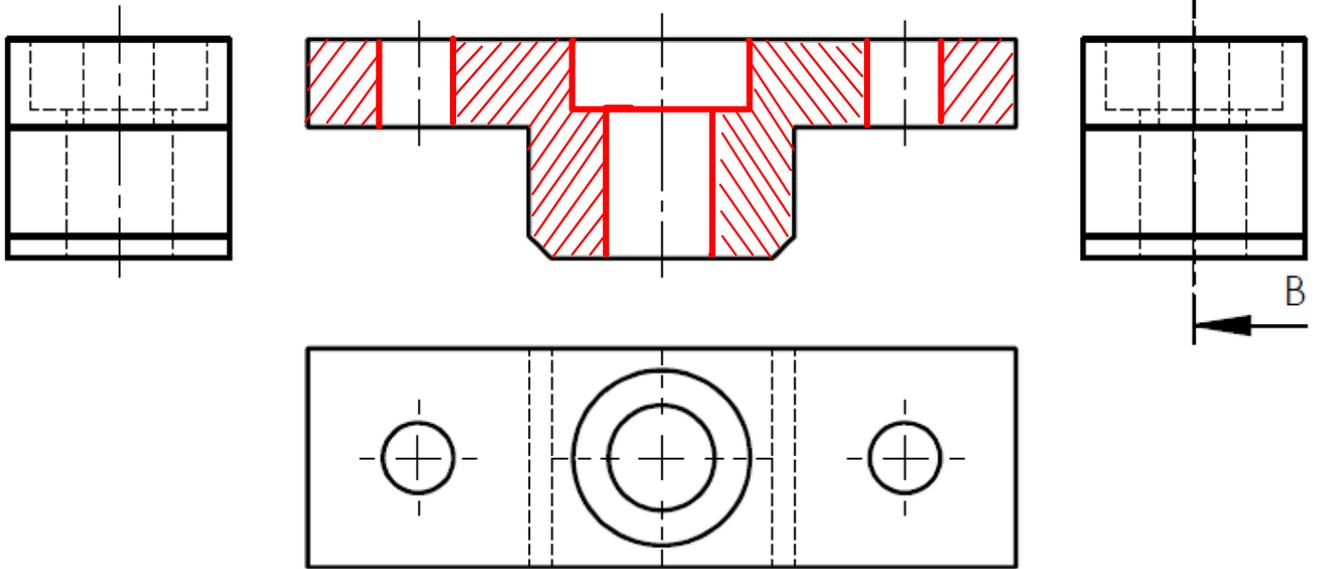
Coupe B-B



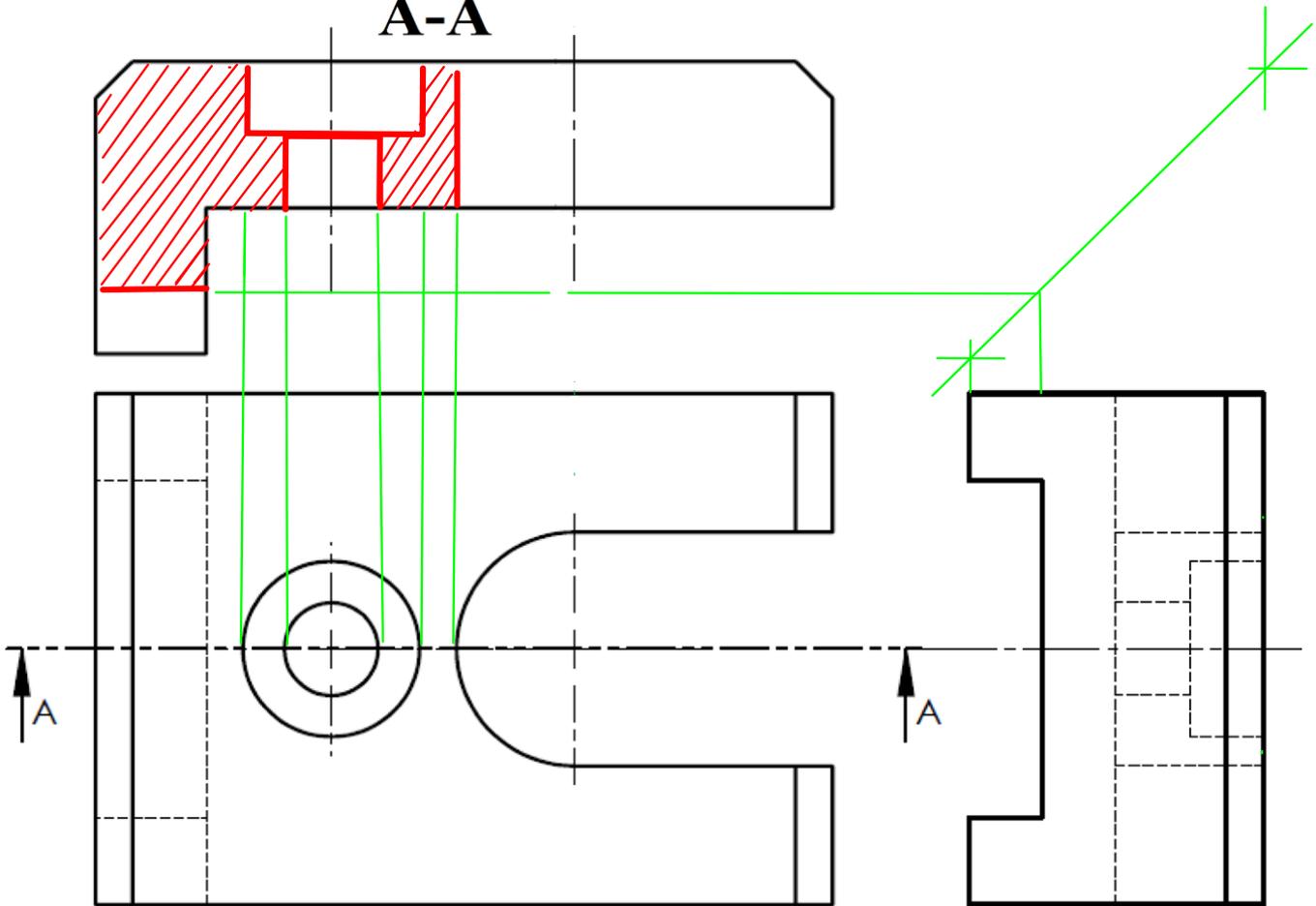




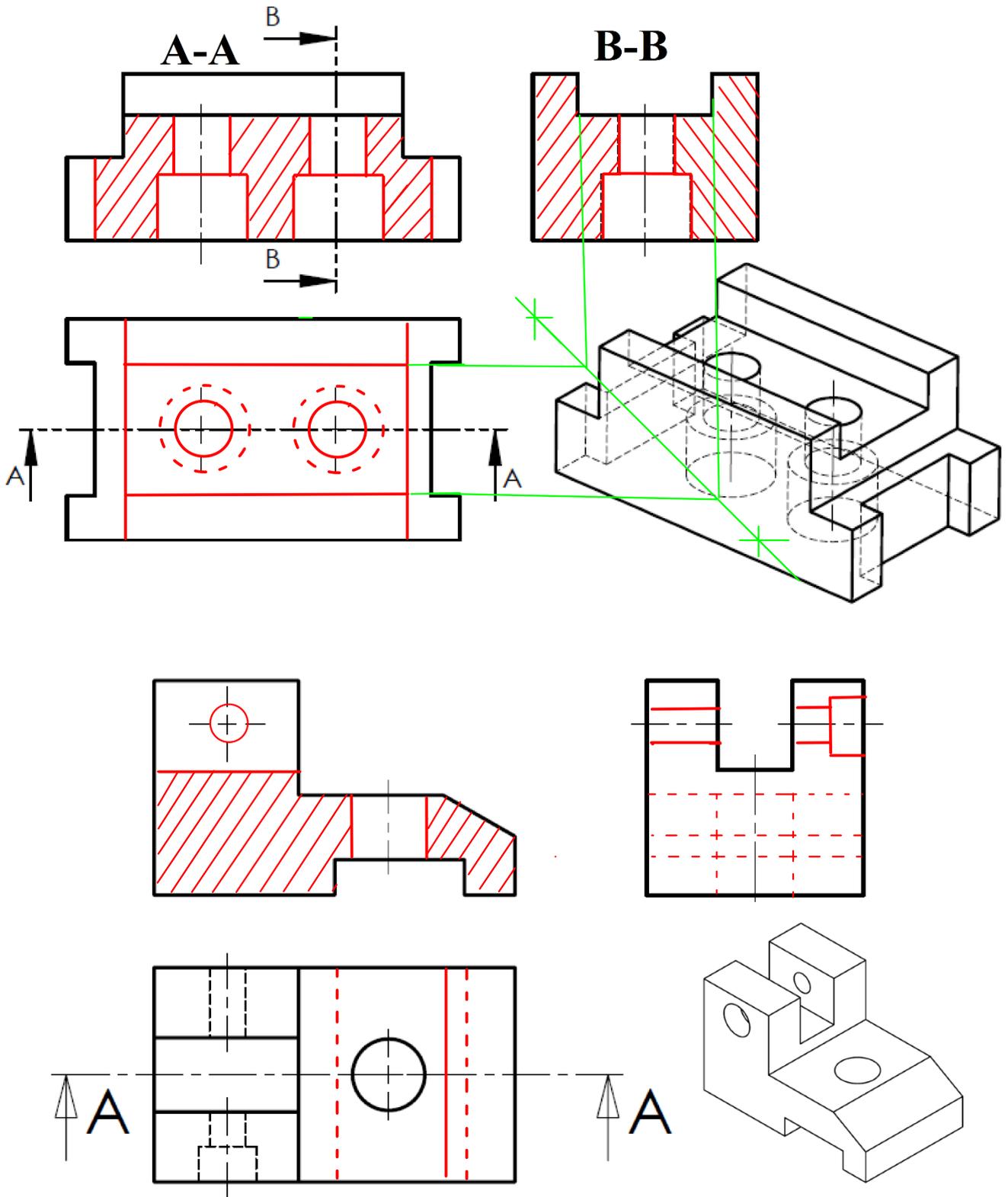
**B-B**



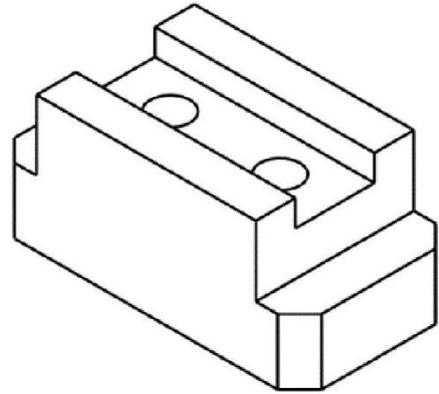
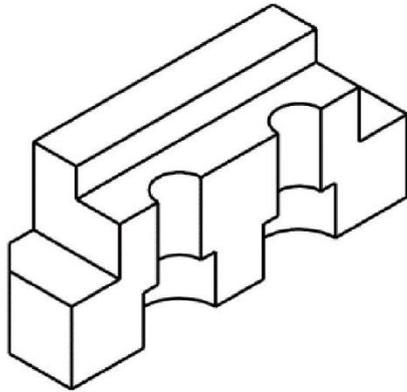
**A-A**



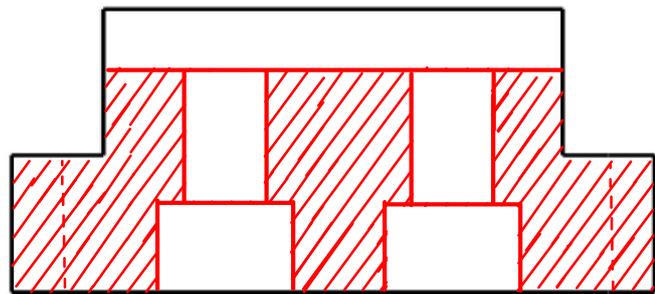
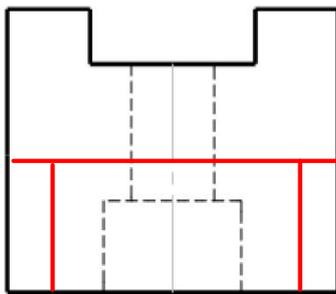
11. Compléter les vues incomplètes



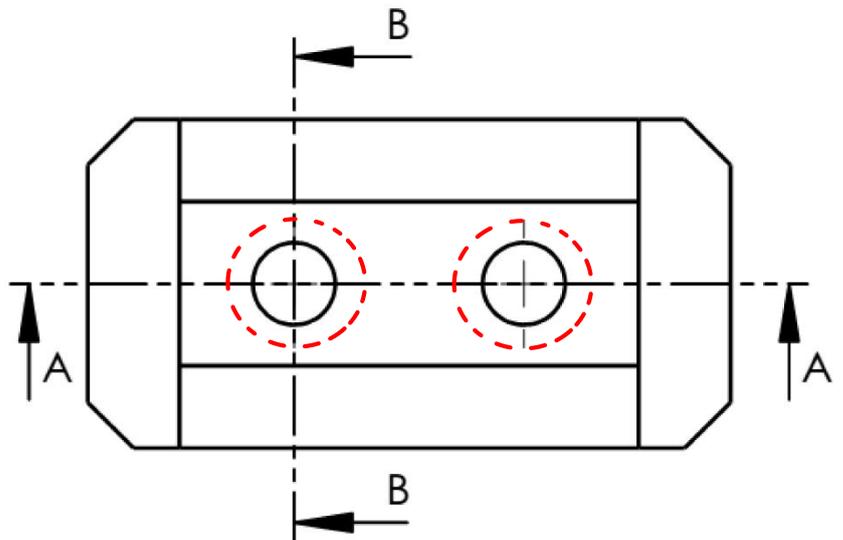
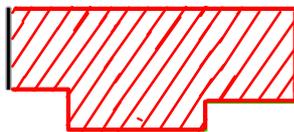
12. Compléter les vues en coupe et les sections

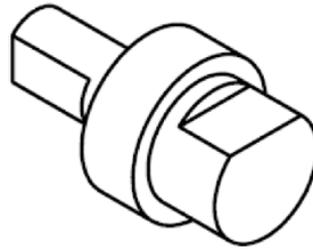


Coupe A-A

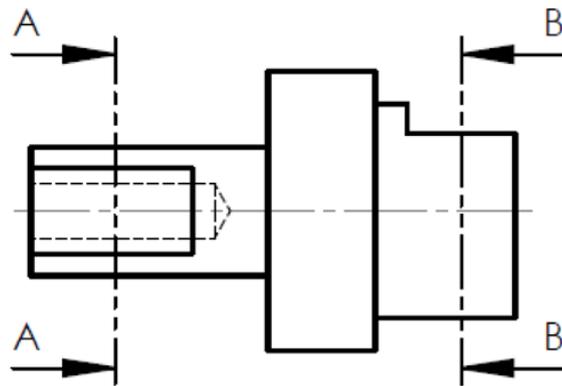
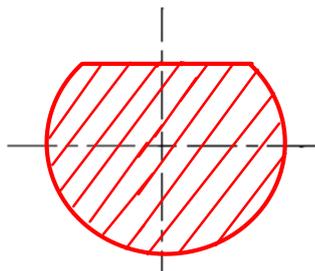


Section B-B

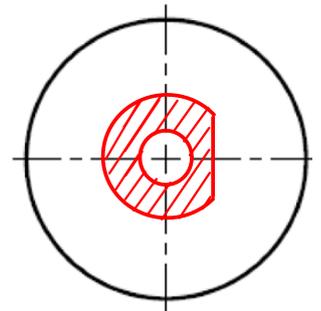




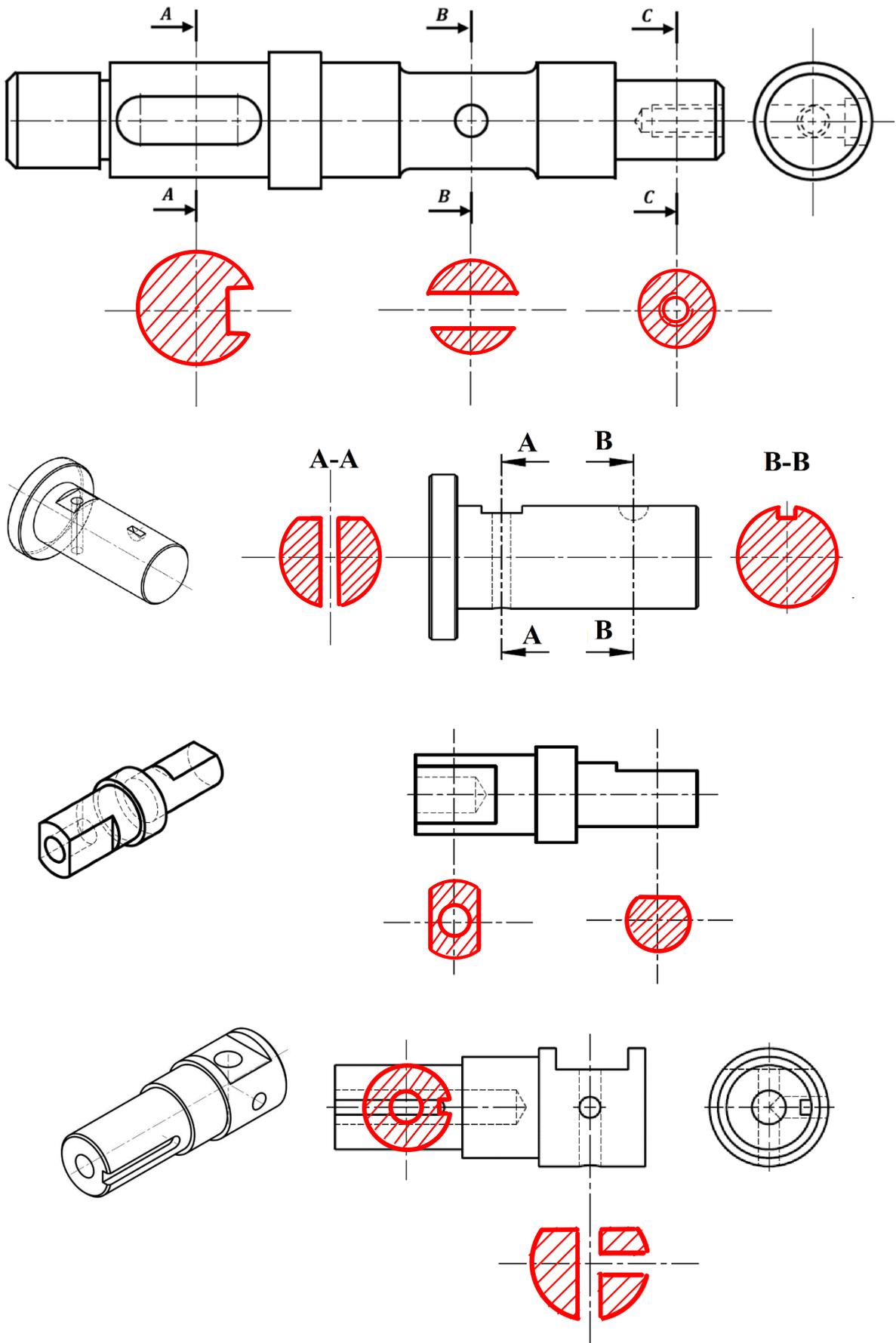
**Section B-B**



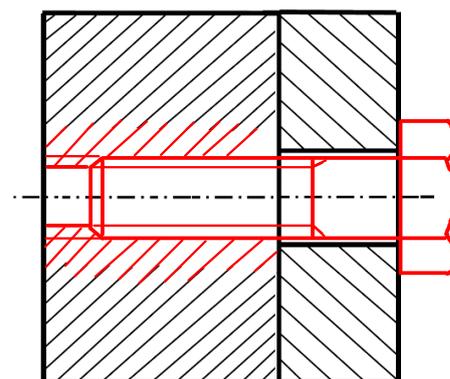
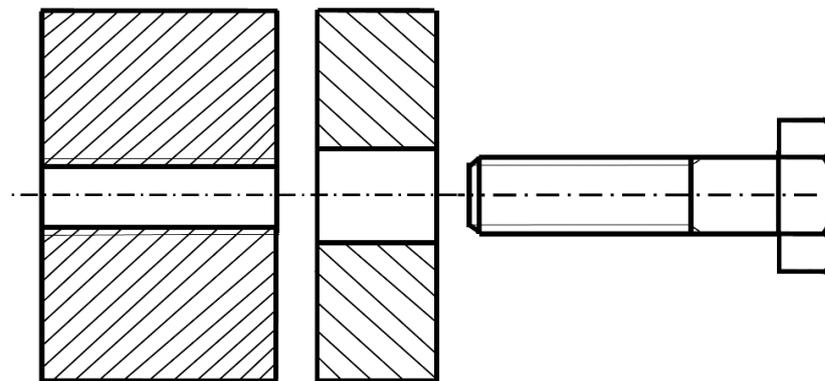
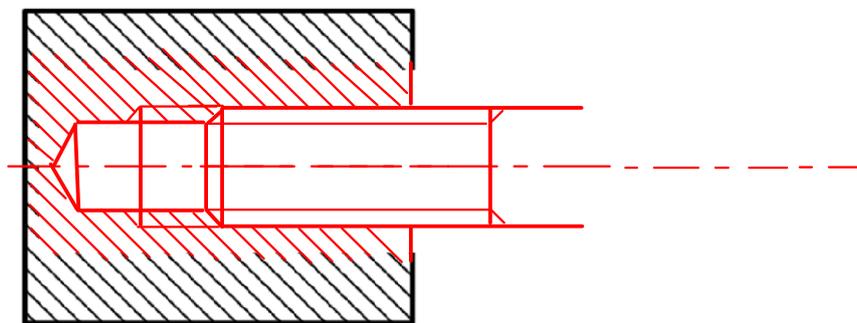
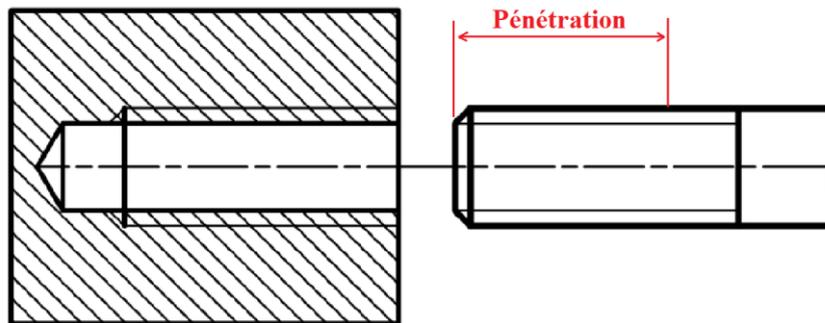
**Coupe A-A**



13. Dessiner les sections sorties et rabattues.



14. Compléter les assemblages.



15. Compléter le tableau des ajustements.

	Alésage				Arbre				Assemblage		Ajustement
	ES	EI	Dmax	Dmin	es	ei	dmax	dmin	Jmax	Jmin	
40H7f6	+0,025	0	40,025	40	-0,025	-0,041	39,975	39,959	+0,066	+0,025	Avec jeu
36H7p6	+0,025	0	36,025	36	+0,042	+0,026	36,042	36,026	-0,001	-0,042	Serré
50H7n6	+0,025	0	50,025	50	+0,033	+0,017	50,033	50,017	+0,008	-0,033	Incertain
60N7j6	-0,009	-0,039	59,991	59,961	+0,012	-0,007	60,012	59,993	-0,002	-0,051	Serré
80H8j6	+0,046	0	80,046	80	+0,012	-0,007	80,012	79,993	+0,053	-0,012	Incertain
50H6g6	+0,016	0	50,016	50	-0,009	-0,025	49,991	49,975	+0,041	+0,009	Avec jeu

## Liaisons mécaniques et assemblages

### Liaisons

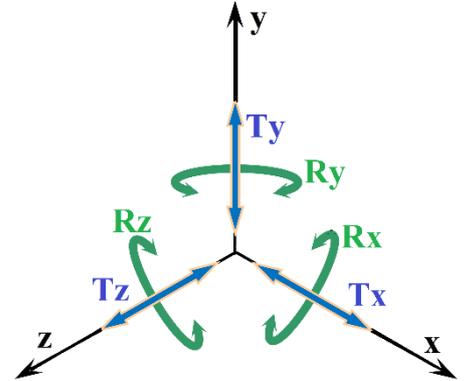
#### Degrés de liberté

Une pièce n'ayant aucune liaison avec une autre, est libre dans tous ses déplacements.

Ainsi, elle peut se déplacer suivant trois axes et chacun de ses déplacements se fait dans les deux sens.

Cette pièce possède **6 degrés de liberté** :

- 3 rotations (notées **R<sub>x</sub>**, **R<sub>y</sub>**, **R<sub>z</sub>**) autour des axes X, Y et Z
- 3 translations (notées **T<sub>x</sub>**, **T<sub>y</sub>**, **T<sub>z</sub>**) le long des axes X, Y et Z



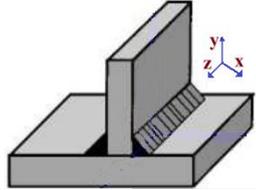
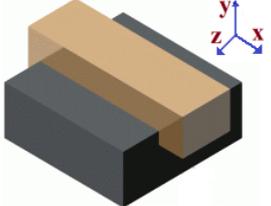
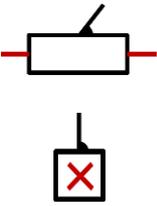
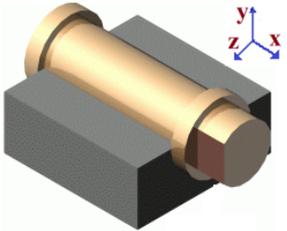
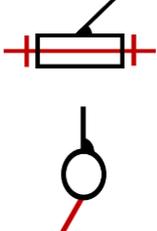
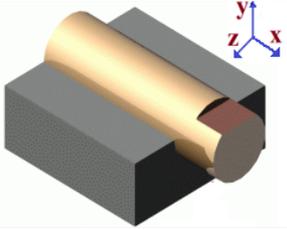
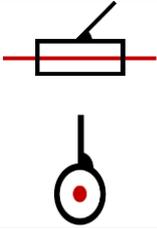
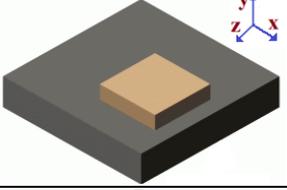
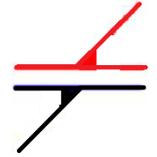
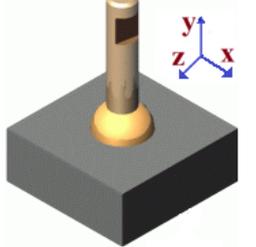
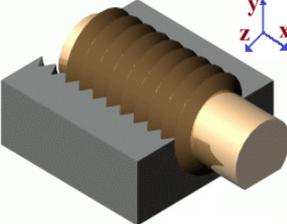
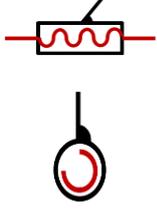
#### Notion de liaison

Une liaison entre deux solides est l'ensemble de surfaces de contact qui suppriment des degrés de liberté et imposent des mobilités entre ces deux solides

#### Surfaces de contact

Type de contact		Surfaces de contact	
Ponctuel	Ponctuel	Sphère/plan	
	Ponctuel	Sommet de cône/plan	
linéique	Rectiligne	Cylindre/plan	
	Circulaire	Sphère/cylindre	
Surfacique	Plan	Plan/plan	
	Cylindrique	Cylindre/ cylindre	
	Sphérique	Sphère/sphère	
	Conique	Cône/cône	
	Hélicoïdal	Hélice/hélice	

Liaisons mécaniques élémentaires

Nom de la liaison	Exemple de mécanisme	Représentation		Mobilité
		Plane 2D	Spatiale 3D	
<b>Encastrement</b> (ou fixe ou complète)				$T_x = 0$ $R_x = 0$ $T_y = 0$ $R_y = 0$ $T_z = 0$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 0</b>
<b>Glissière</b>				$T_x = 1$ $R_x = 0$ $T_y = 0$ $R_y = 0$ $T_z = 0$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 1</b>
<b>Pivot</b>				$T_x = 0$ $R_x = 1$ $T_y = 0$ $R_y = 0$ $T_z = 0$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 1</b>
<b>Pivot glissant</b>				$T_x = 1$ $R_x = 1$ $T_y = 0$ $R_y = 0$ $T_z = 0$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 2</b>
<b>Appui plan</b>				$T_x = 1$ $R_x = 0$ $T_y = 0$ $R_y = 1$ $T_z = 1$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 3</b>
<b>Rotule</b>				$T_x = 0$ $R_x = 1$ $T_y = 0$ $R_y = 1$ $T_z = 0$ $R_z = 1$ <b>Degrés de liberté = 3</b>
<b>Hélicoïdale</b>				$T_x = 1$ $R_x = 1$ $T_y = 0$ $R_y = 0$ $T_z = 0$ $R_z = 0$ <b>Degrés de liberté = 1</b>

## Caractéristiques d'une liaison

Une liaison mécanique entre deux pièces peut être :

<b>c</b>	<b>r</b>	<b>de</b>	<b>a</b>	<b>di</b>
<b>c̄</b>	<b>r̄</b>	<b>dē</b>	<b>ā</b>	<b>dī</b>

- |   |  |
|---|--|
| ▪ <b>Complète</b> ou <b>partielle</b>         | sans ou avec possibilité de mouvement entre les deux pièces.           |
| ▪ <b>Directe</b> ou <b>indirecte</b>          | sans ou avec l'intervention d'un organe intermédiaire (vis, colle...). |
| ▪ <b>Démontable</b> ou <b>indémontable</b>    | avec ou sans possibilité de séparation sans détérioration.             |
| ▪ <b>Rigide</b> ou <b>élastique</b>           | sans ou avec un organe de liaison élastique.                           |
| ▪ <b>Par adhérence</b> ou <b>par obstacle</b> | sans ou avec obstacle qui supprime des degrés de libertés.             |

## Schéma cinématique

Le schéma cinématique d'un mécanisme est un modèle de représentation simplifiée permettant une meilleure compréhension de son fonctionnement sur le plan cinématique.

- ⇒ Une **classe d'équivalence** d'un mécanisme est un ensemble de pièces fixes les unes par rapport aux autres pendant toutes les étapes du fonctionnement.
- ⇒ Le **graphe des liaisons** d'un mécanisme est un modèle qui traduit les liaisons entre ses différentes classes d'équivalence.

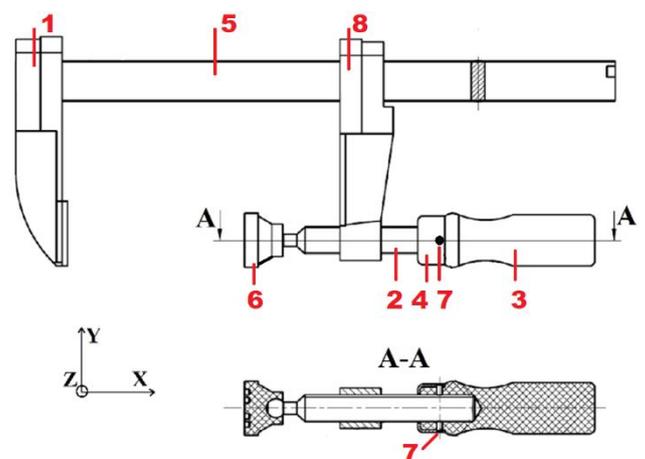
### Démarche

- Identifier les classes d'équivalence.
- Etablir le graphe des liaisons après avoir identifié les types de contact entre les classes d'équivalence.
- Etablir le schéma cinématique.

## Exercices

### 1. Etude cinématique d'un serre-joint

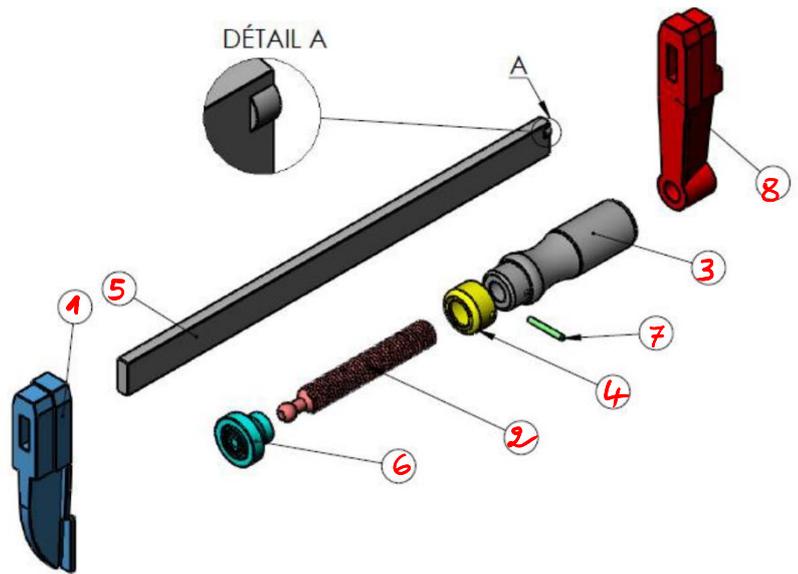
Le serre-joint est un outil qui sert à immobiliser et à serrer des pièces.  
Pour maintenir serrée une pièce, il faut glisser le coulisseau (8) jusqu'à positionner la pièce entre la touche fixe (1) et la touche mobile (6). Ensuite, il faut manœuvrer la poignée (3) jusqu'à obtenir la pression souhaitée.



- a. Compléter les repères des pièces sur la vue éclatée.
- b. Rechercher les classes d'équivalence.
- c. Compléter le graphe des liaisons.
- d. Compléter le tableau des liaisons.
- e. Compléter le schéma cinématique.

Vue éclatée

Repère	QTE	Désignation	Observations
1	1	Touche fixe	Soudée avec 5
2	1	Tige filetée	
3	1	Poignée	Bois
4	1	Cache	
5	1	Corps	
6	1	Touche mobile	Plastique
7	1	Goupille	
8	1	Coulisseau	



Classes d'équivalence

- A = {1, 5}
- B = {2, 3, 4, 7}
- C = {6}
- D = {8}

Graphe des liaisons

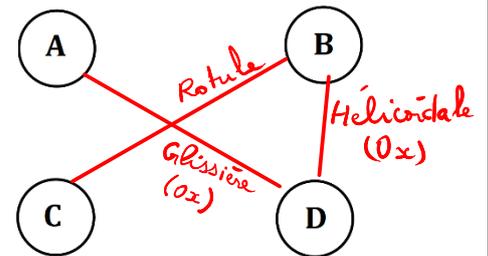
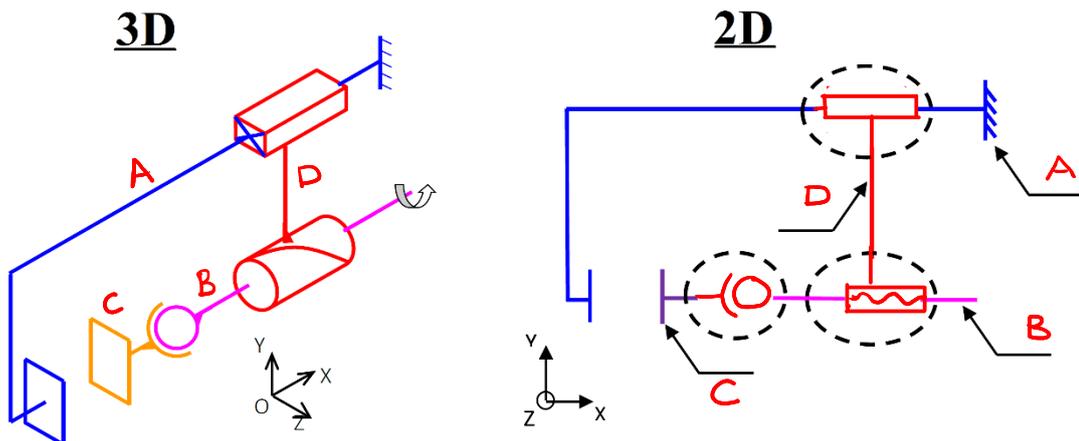


Tableau des liaisons

Liaisons	Translation suivant l'axe			Rotation suivant l'axe			Type de liaison
	X	Y	Z	X	Y	Z	
A-D	1	0	0	0	0	0	Glissière
B-C	0	0	0	1	1	1	Rotule
B-D	1	0	0	1	0	0	Hélicoïdale

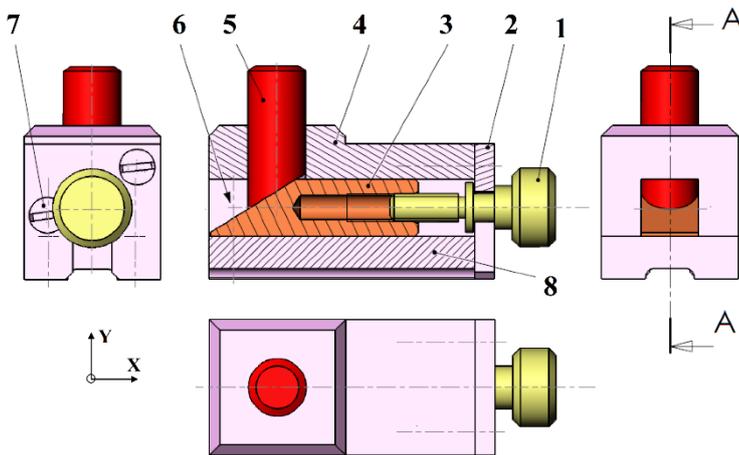
Schéma cinématique



2. Borne réglable

La borne réglable réalise un contact localisé réglable en position verticale. Elle peut être utilisée comme élément de montages d'usinage.

Pour cela, la semelle (8) est fixée sur le montage d'usinage, et le contact avec la pièce à usiner se fait par la butée (5). La position verticale de cette butée est réglée en actionnant la vis moletée (1).



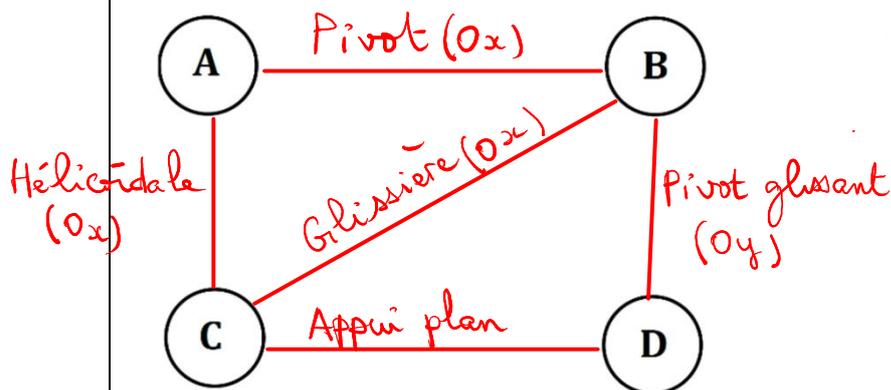
Repère	Désignation	Qté
1	Vis moletée	1
2	Plaquette d'arrêt	1
3	Cale pentue	1
4	Corps	1
5	Butée	1
6	Vis à tête cylindrique fendue	2
7	Vis à tête fraisée fendue	2
8	Semelle	1

- a. Compléter les repères des pièces sur la vue éclatée.
- b. Rechercher les classes d'équivalence.
- c. Compléter le graphe des liaisons.
- d. Compléter le schéma cinématique.

Classes d'équivalence

- A = {1}
- B = {2, 4, 6, 7, 8}
- C = {3}
- D = {5}

Graphe des liaisons



Vue éclatée

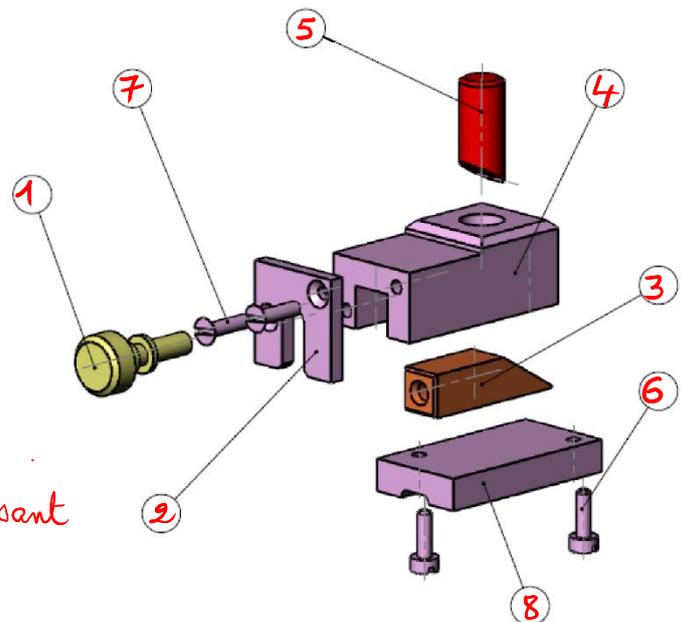
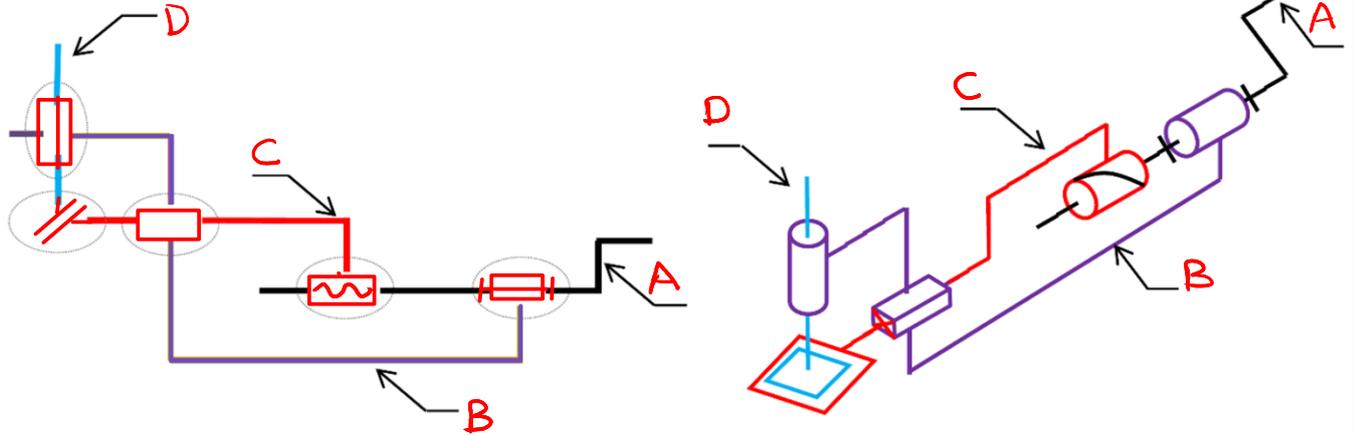
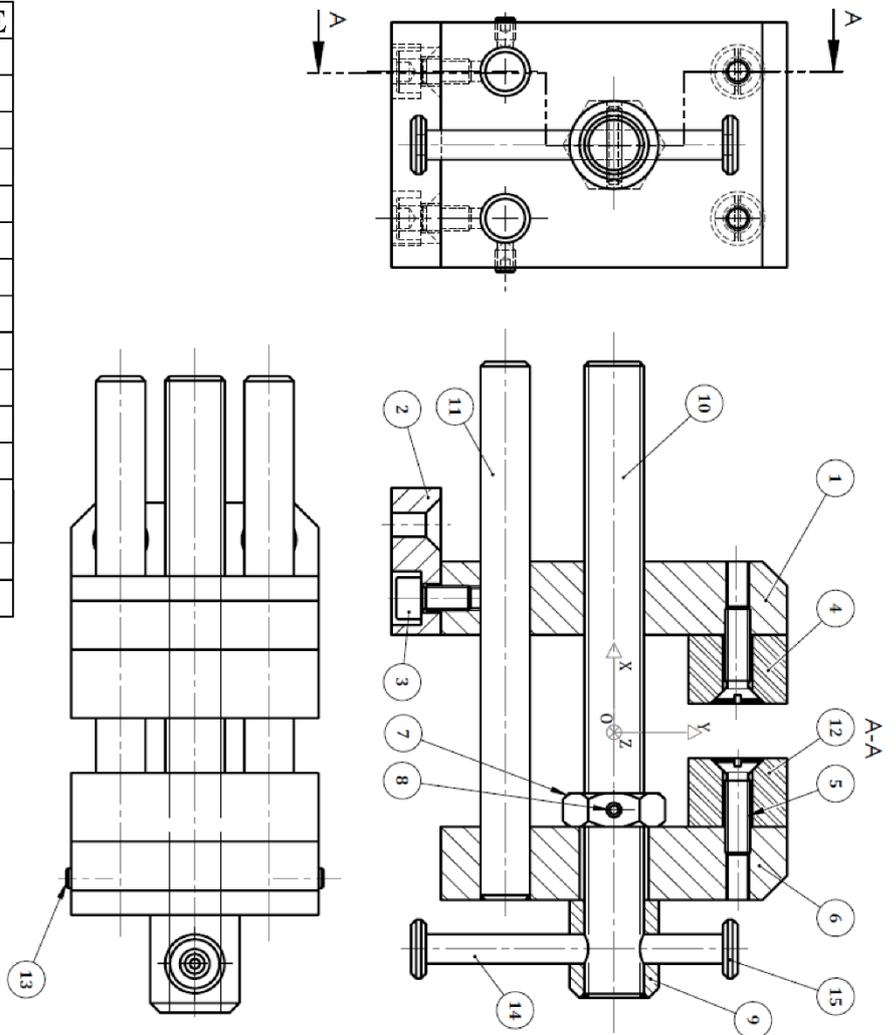


Schéma cinématique



3. Etai de modélisme

REP.	DES.	QTE
1	Mors-fixe	1
2	Semelle	1
3	Vis CHC M5-10 - 8.8	2
4	Garniture-mors-fixe	1
5	Vis FS M5-20 - 5.6	4
6	Mors-mobile	1
7	Ecrou-HM-M12	1
8	Goupille élastique 3x16	1
9	Bague de renfort	1
10	Vis de manœuvre	1
11	Tige guide	2
12	Garniture-mors-mobile	1
13	Vis sans tête à bout tronconique HC, M4-6	2
14	Tige de poignée	1
15	Embout de poignée	2



Echelle 1:1



A4

**ETAU DE MODELISME**

Lycée technique Acharif Al Idrissi, Safi

Date :

2 SMB

Doc. :

L'étau de modélisme est un outil employé par les modélistes pour maintenir en position des pièces afin de réaliser des opérations telles que le collage, le perçage....

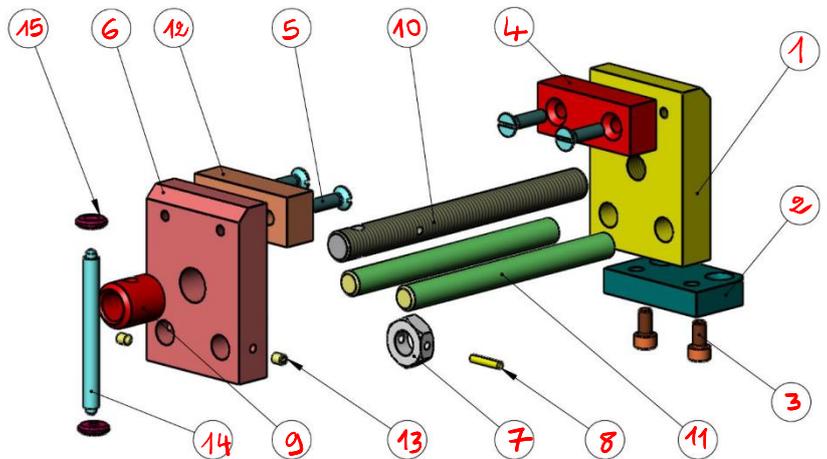
La semelle de l'étau (2) est fixée à une table. L'utilisateur, en tournant la poignée (14) autour de l'axe X, fait translater le mors mobile (6) par rapport à la semelle (2) suivant l'axe X et provoque l'écartement ou le rapprochement du mors mobile (6) par rapport au mors fixe (1).

- Compléter les repères des pièces sur la vue éclatée.
- Rechercher les classes d'équivalence.
- Compléter le graphe des liaisons.
- Compléter le schéma cinématique.

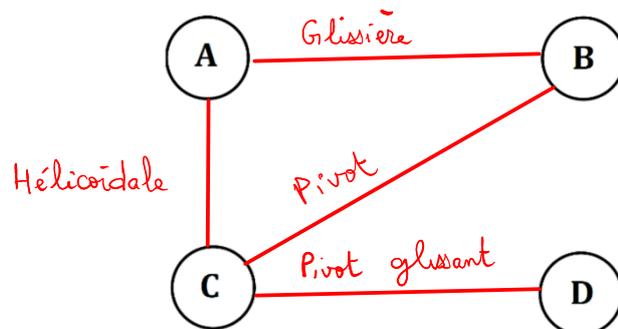
### Classes d'équivalence

- A = {1, 2, 3, 4}  
 B = {6, 12, 5, 11, 13}  
 C = {10, 7, 8, 9}  
 D = {14, 15}

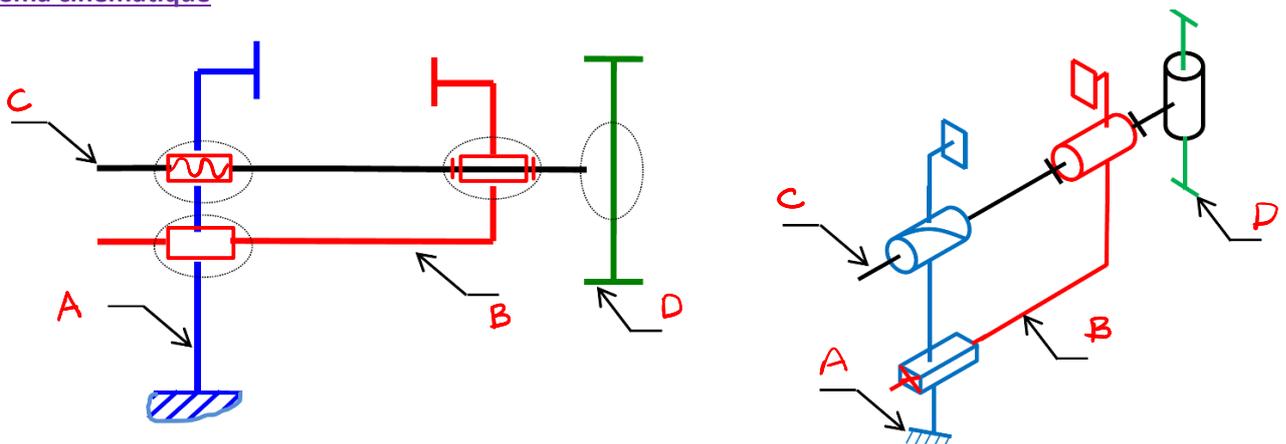
### Vue éclatée



### Graphe des liaisons

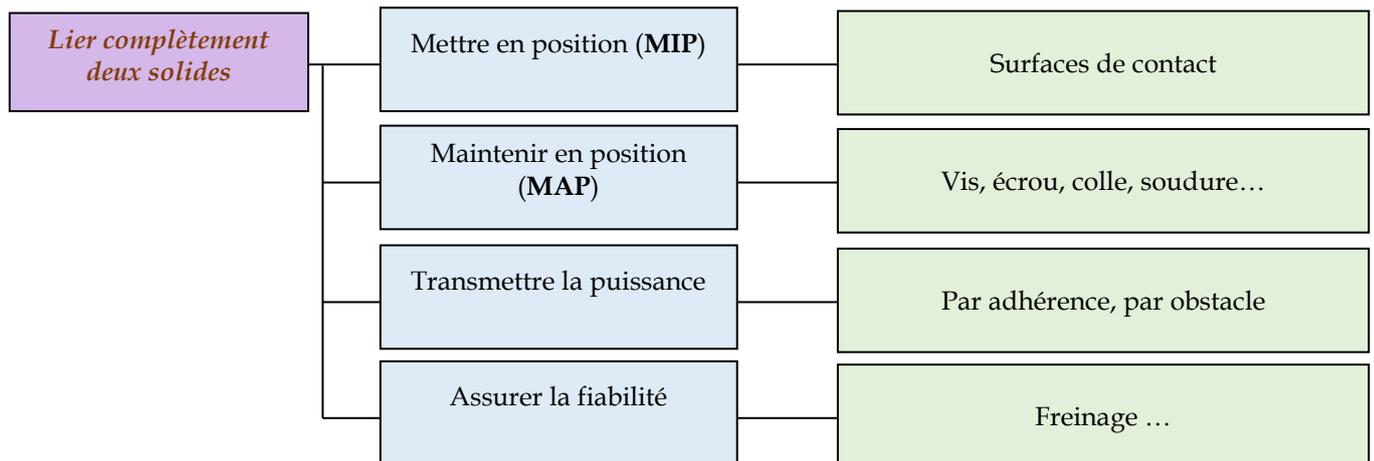
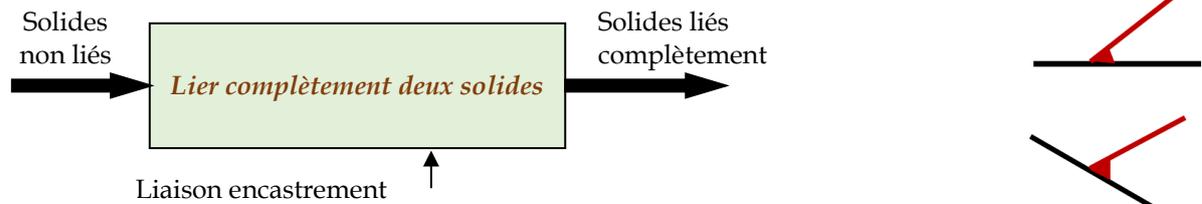


### Schéma cinématique



## Liaison encastrement

Une liaison **encastrement**, dite aussi complète, est une liaison qui consiste à immobiliser des solides l'un par rapport à l'autre.



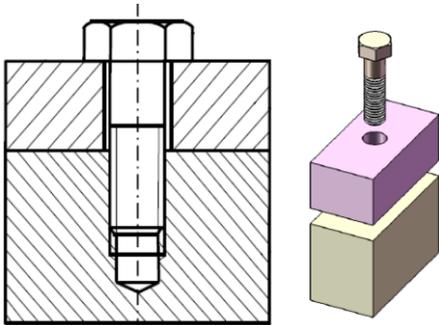
Une liaison complète peut être :

- ⇒ **Démontable** : **Par adhérence** : vis, écrou, boulon, goujon, par pincement ...  
**Par obstacle** : clavette, goupille élastique, cannelures ...
- ⇒ **Non démontable** : soudage, rivetage, collage, ajustement forcé, goupilles ....

**Liaison encastrement démontable - par adhérence -**

Les deux solides sont serrés fortement l'un contre l'autre, le plus souvent par des éléments filetés.

**Par vis d'assemblage**

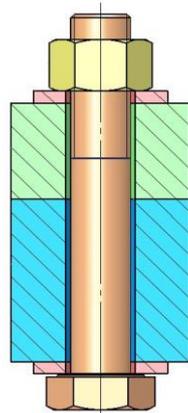


MIP : surface plane  
MAP : vis d'assemblage



**Par boulon**

Un boulon est constitué d'une vis et d'un écrou.



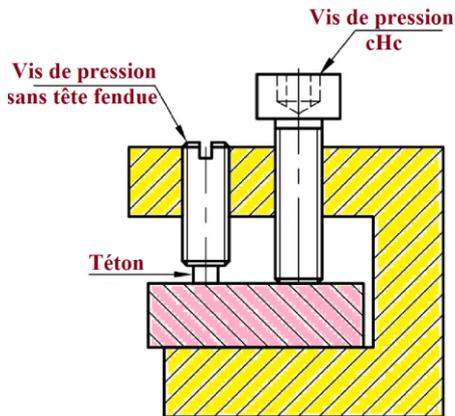
**Par goujon**

Un goujon est constitué d'une tige filetée des deux côtés et d'un écrou.

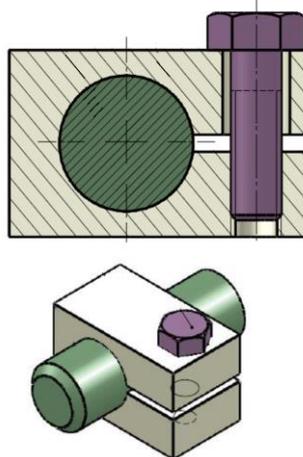


**Par vis de pression**

L'effort de serrage nécessaire à la liaison fixe est exercé par l'extrémité de la vis.

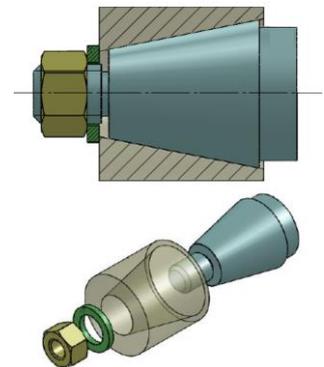


**Par pincement**



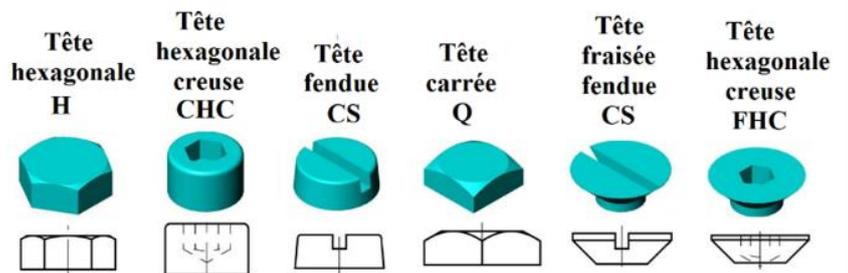
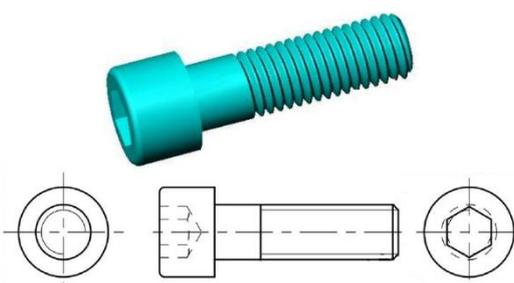
MIP : surface cylindrique  
MAP : vis d'assemblage

**Par emmanchement conique (coincement)**



MIP : surface conique  
MAP : Ecrou et rondelle

**Vis d'assemblage**

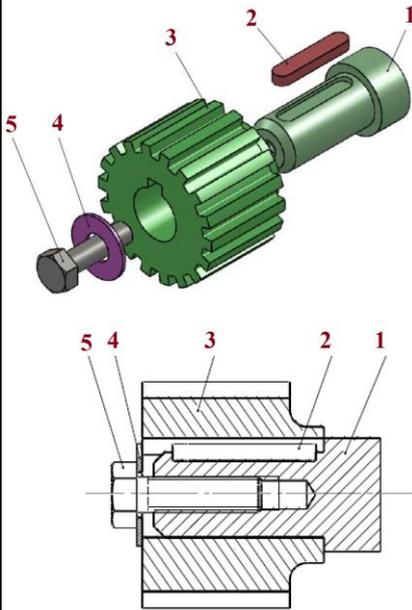


**Liaison encastrement démontable - par obstacle -**

On ajoute des obstacles lorsque l'adhérence ne suffit plus pour transmettre la puissance .

**Par clavette**

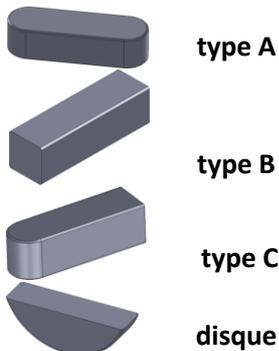
Une clavette permet la liaison en rotation entre deux pièces.



- 1 : Arbre
- 2 : clavette
- 3 : roue dentée
- 4 : rondelle d'appui
- 5 : vis d'assemblage

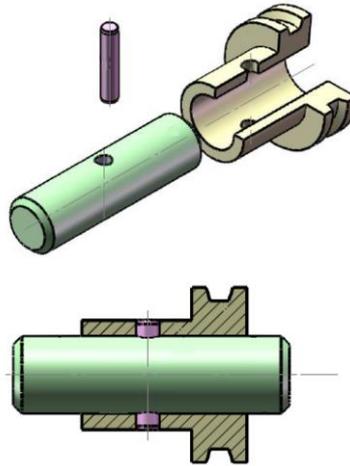
**MIP** : surface cylindrique, surface plane et clavette  
**MAP** : vis et rondelle

**Clavettes**



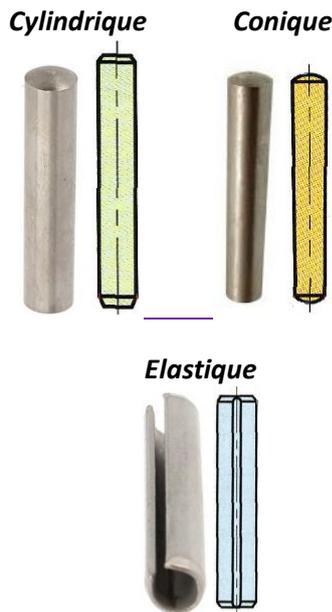
**Par goupille**

Une goupille permet la liaison en rotation et en translation entre deux pièces.



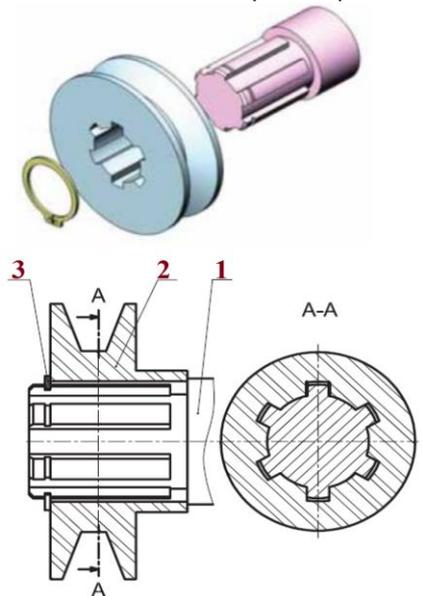
**MIP** : surface cylindrique  
**MAP** : goupille

**Goupilles**

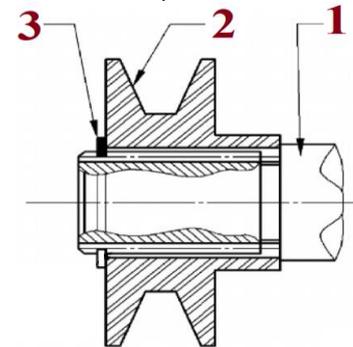


**Par cannelures**

Les cannelures, rainures taillées dans l'arbre ou dans le moyeu, permettent de transmettre des couples importants.



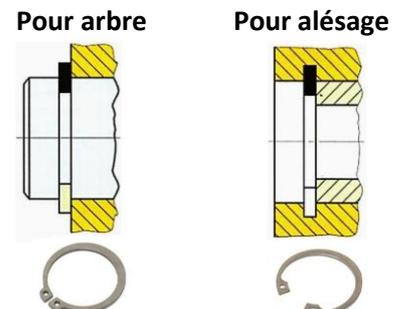
Représentation simplifiée des cannelures



- 1 : arbre cannelé
- 2 : poulie cannelée
- 3 : anneau élastique

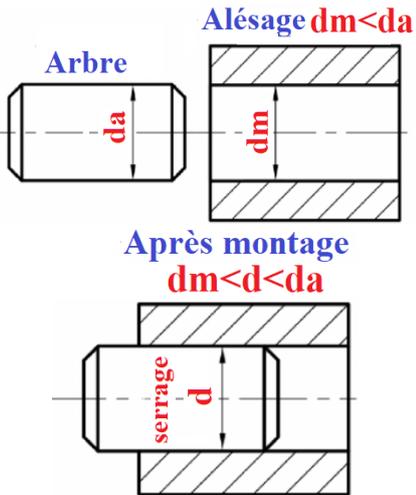
**MIP** : surface cylindrique, surface plane  
**MAP** : anneau élastique

**Anneaux élastiques**

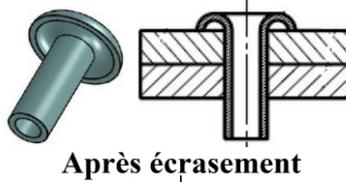
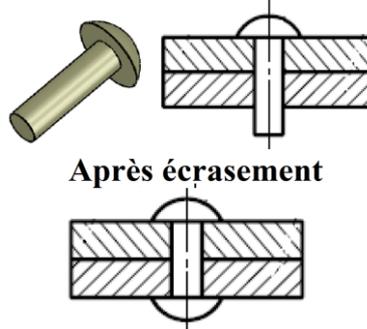


Liaison encastrement non démontablePar ajustement serré

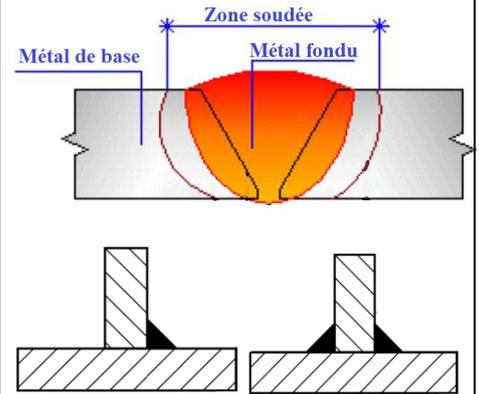
Le principe est de monter un arbre de diamètre  $d_a$  supérieur au diamètre  $d_m$  de l'alésage qui le reçoit.

Par rivetage

La liaison est réalisée par déformation de l'extrémité d'un rivet.

Rivet creuxRivet à tête bombéePar soudage

Le soudage permet d'assembler deux pièces par fusion locale de chacune des pièces avec présence ou non d'un métal d'apport.

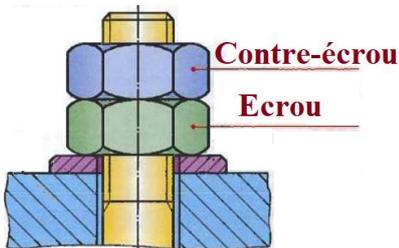


**Freinage des assemblages filetés**

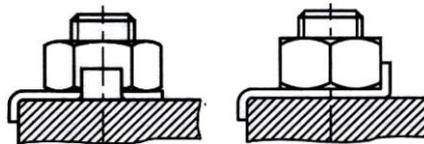
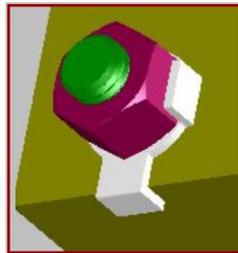
Assez sensibles aux chocs et vibrations, les éléments filetés peuvent se desserrer. Dans ces conditions, un procédé de freinage s'avère nécessaire.

**Par contre-écrou**

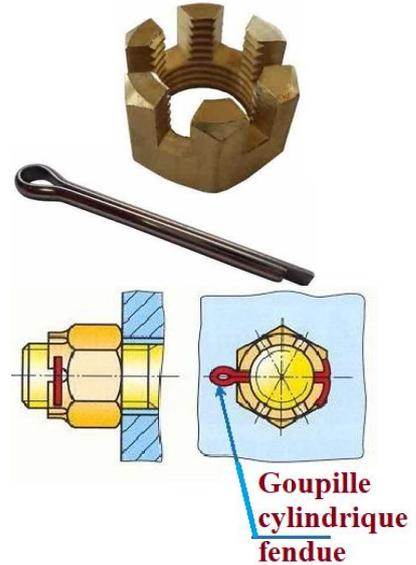
Le freinage est obtenu par un second écrou. Les deux écrous sont serrés l'un contre l'autre et bloqués sur le filet de la vis.

**Par plaquette arrêtoir**

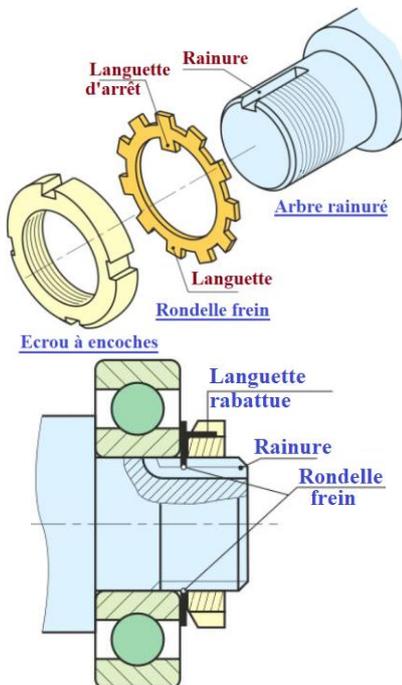
Le frein possède deux languettes dont l'une est repliée sur un pan de l'écrou et l'autre sur une face de la pièce.

**Par écrou à créneaux HK et goupille V**

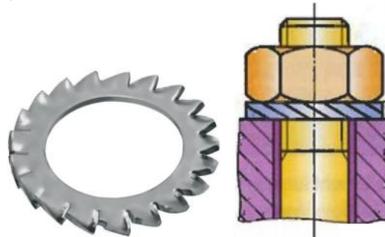
Le freinage est réalisé par une goupille cylindrique fendue passant dans l'un des créneaux de l'écrou.

**Par écrou à encoches**

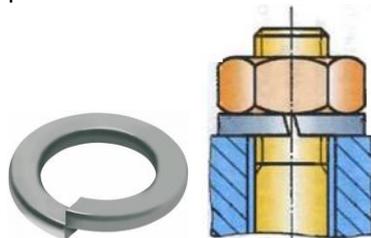
La rondelle frein a une languette qui se loge dans une rainure de l'arbre. Une des languettes de la périphérie est rabattue dans une encoche de l'écrou.

**Par rondelle frein****Rondelle à dents**

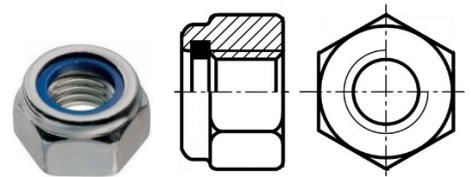
Le freinage est obtenu grâce à l'élasticité des dents et à l'incrustation des arêtes dans les pièces à freiner.

**Rondelle Grower**

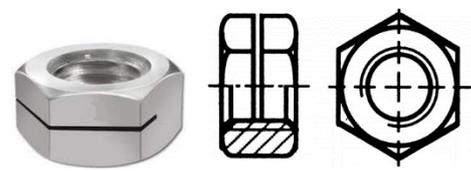
Le freinage est assuré grâce à l'élasticité de la rondelle et à l'incrustation de ses bords dans les pièces à freiner.

**Par écrou auto freiné****Eccrou Nylstop**

L'écrou contient, à son bout, une bague en polyamide (nylon). Lors du vissage, elle se déforme. L'adhérence de la bague sur la vis freine l'écrou.

**Eccrou fendu**

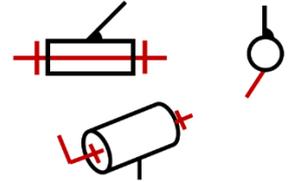
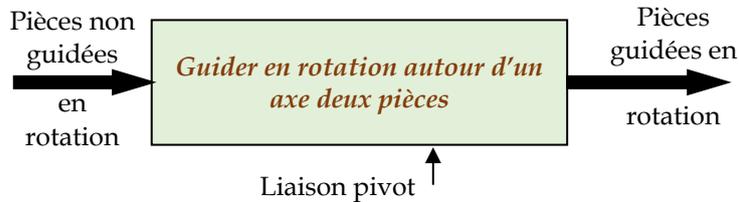
La déformation élastique de l'écrou conduit à un effort de freinage par frottement plus important que dans un écrou simple.



## Guidage en rotation : la liaison pivot

Le guidage en rotation est la solution constructive qui réalise une liaison **pivot** entre deux pièces appelées alors couramment **arbre** et **alésage** (ou **moyeu**).

Cette liaison autorise seulement la possibilité de **rotation** autour de l'axe de la liaison.

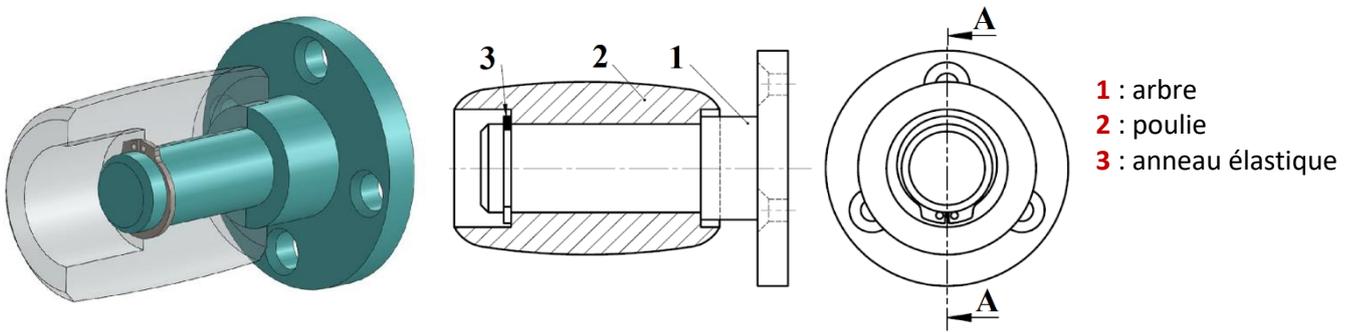


Une liaison pivot peut être réalisée :

- ⇒ Par contact direct.
- ⇒ Par interposition de bagues de frottement : **coussinets**.
- ⇒ Par interposition d'un film d'huile.
- ⇒ Par interposition d'éléments roulants : **roulements**.

### Guidage en rotation par contact direct

Le guidage en rotation est obtenu à partir du contact entre des surfaces cylindriques complémentaires et deux arrêts qui suppriment le degré de liberté en translation suivant l'axe des cylindres.



Le guidage par contact direct est peu couteux et convient pour les vitesses faibles.

Inconvénient : frottement élevé, dégradation des surfaces et de la précision par usure.

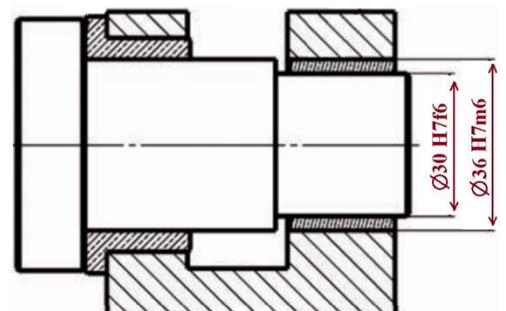
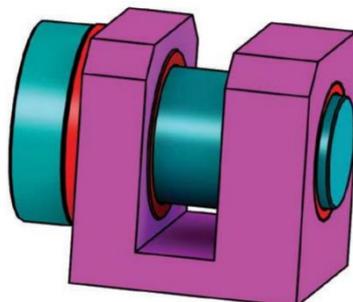
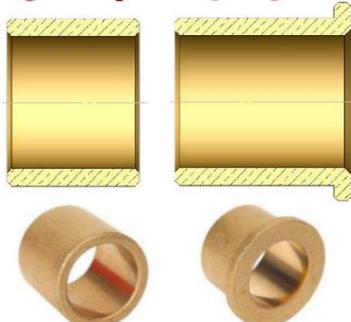
### Guidage en rotation par coussinets

Le contact est amélioré en interposant des bagues de frottement, appelées **coussinets**, de faibles dimensions et de remplacement facile.

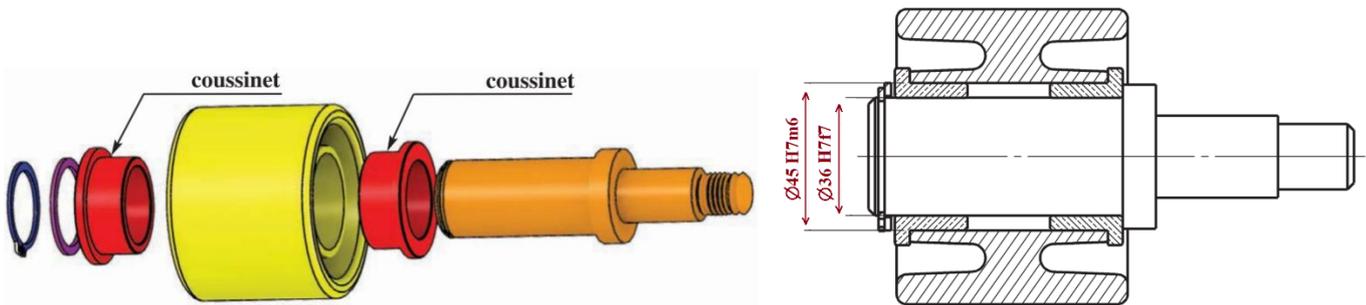
Le coussinet est encasté avec le moyeu et accueille l'arbre. Le mouvement relatif se fait donc entre l'arbre et le coussinet

Matériaux utilisés pour les coussinets : bronze fritté autolubrifiant, nylon...

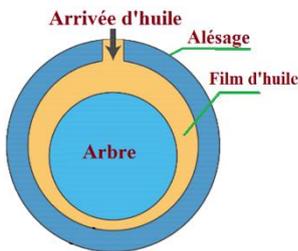
Bague simple Bague épaulée



**Exemple** : galet du tendeur de courroie monté sur deux coussinets épaulés



### Guidage en rotation par film d'huile (paliers hydrodynamiques)



Lorsque les fréquences de rotation sont très élevées, on interpose un film d'huile entre les surfaces de liaison.

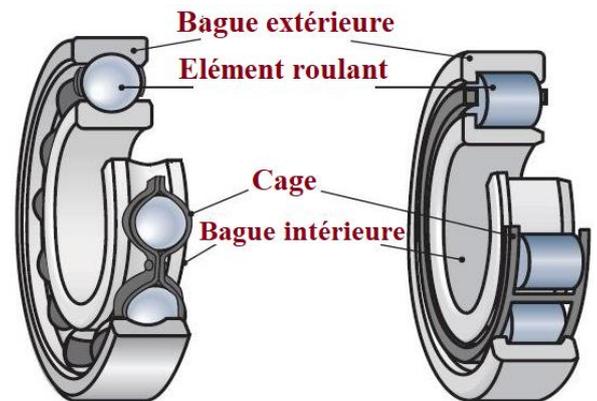
Exemple : liaison turbine carter dans un turbo compresseur (150 000 tr/min).

### Guidage en rotation par roulements

Les guidages par éléments roulants constituent une famille de composants standards de guidage en rotation dont le principe est de remplacer le glissement par du roulement.

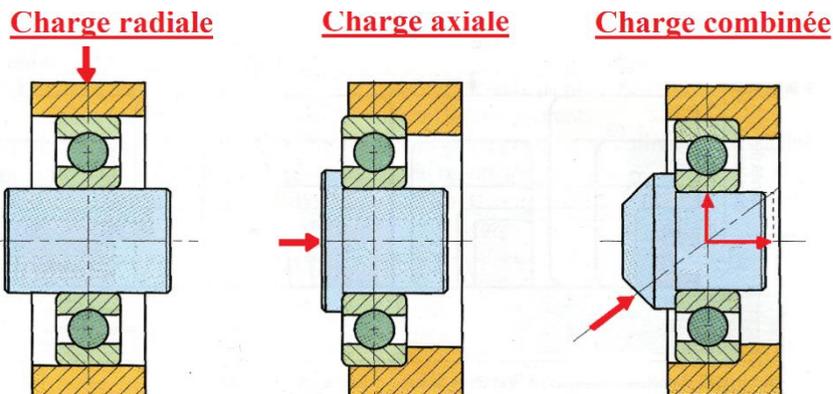
Des éléments roulants (billes, rouleaux ou aiguilles) sont ainsi insérés en deux bagues, une intérieure et une autre extérieure.

**Avantage** : forte réduction de la résistance au mouvement donc meilleur rendement mécanique.



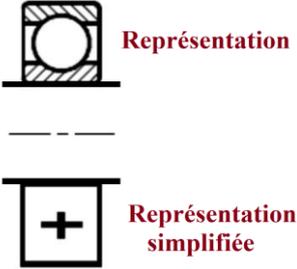
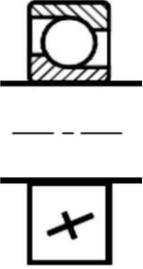
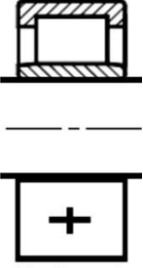
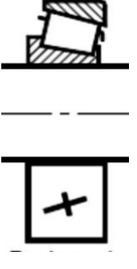
### Type de charges supportées par les roulements

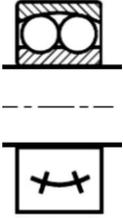
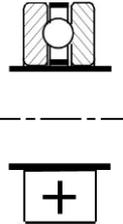
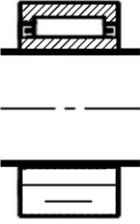
Le choix du type de roulement dépend des caractéristiques du guidage en rotation, notamment de la charge supportée.



Types de roulements

- Les éléments roulants peuvent être des billes, des rouleaux ou des aiguilles ;
- Les roulements peuvent être à une rangée ou deux rangées d'éléments roulants ;
- Les roulements peuvent être à contact radial, à contact oblique ou à contact axial (butées).

Roulement	Représentation	Utilisations
<p><b>Roulement à billes à contact radial</b></p> 	 <p>Représentation</p> <p>Représentation simplifiée</p>	<p>Le plus utilisé. Supporte des charges radiales importantes ainsi que des charges axiales alternées.</p>
<p><b>Roulement à une rangée de billes à contact oblique</b></p> 		<p>Supporte des charges axiales et radiales très importantes. Se monte par paire.</p>
<p><b>Roulement à rouleaux cylindriques</b></p> 		<p>Supporte seules les charges radiales mais très importantes. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.</p>
<p><b>Roulement à rouleaux coniques</b></p> 		<p>Supporte des charges axiales et radiales très importantes. Se monte par paire. Les bagues sont séparables, facilitant le montage.</p>

<p><b>Roulement à rotule sur deux rangées de billes</b></p> 		<p>Supporte des charges radiales élevées et des charges axiales faibles.</p> <p>Utilisé lorsque l'alignement des paliers est difficile ou dans le cas d'arbre de grande longueur.</p>
<p><b>Butée à billes</b></p> 		<p>Conçue pour admettre des charges axiales uniquement.</p>
<p><b>Roulement à aiguilles</b></p> 		<p>Supporte seules les charges radiales mais très importantes.</p> <p>Son encombrement est réduit.</p>

### Montages de roulements

#### Règles générales de montage :

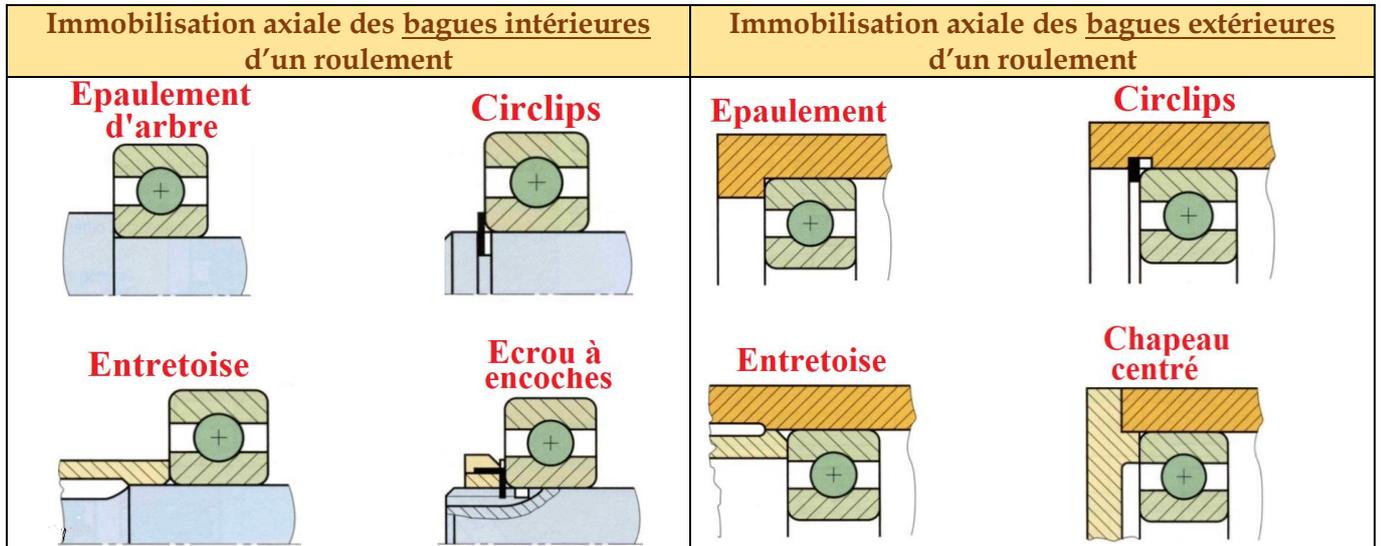
- La bague entraînée en rotation doit être ajustée avec serrage.
- La bague fixe doit être ajustée avec jeu.

#### Règles de mise et de maintien en position du montage :

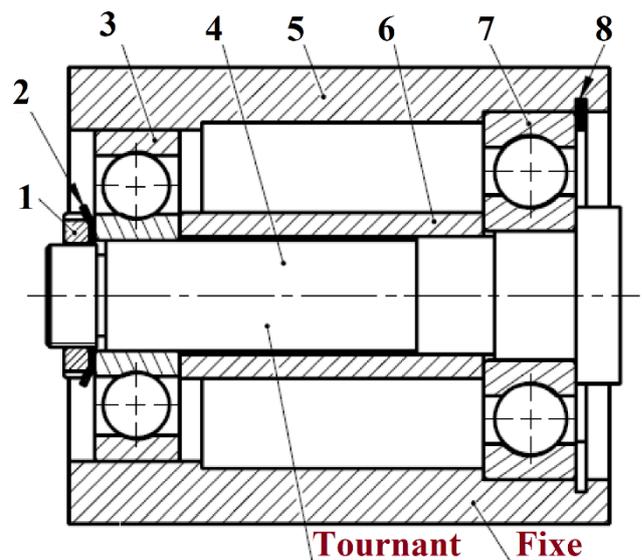
- Les bagues entraînées en rotation doivent être complètement immobilisées axialement.
- Les bagues fixes doivent être arrêtées axialement par deux obstacles, un obstacle dans chaque sens.

Il en découle :

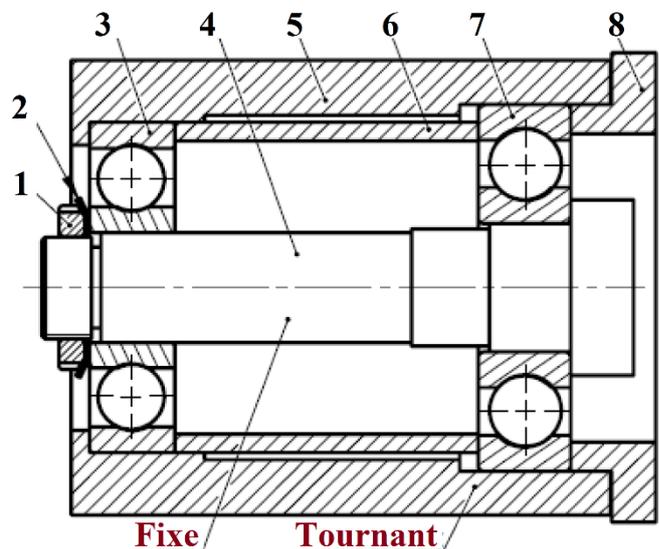
Arbre tournant	Alésage tournant
<p><b><u>Ajustements</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les <u>bagues intérieures</u> tournantes sont montées <u>serrées</u>.</li> <li>▪ Les <u>bagues extérieures</u> fixes sont montées <u>glissantes</u>.</li> </ul> <p><b><u>Arrêts axiaux des bagues</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les <u>bagues intérieures</u> sont arrêtées par <u>quatre</u> obstacles.</li> <li>▪ Les <u>bagues extérieures</u> sont arrêtées par <u>deux</u> obstacles.</li> </ul>	<p><b><u>Ajustements</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les <u>bagues extérieures</u> tournantes sont montées <u>serrées</u>.</li> <li>▪ Les <u>bagues intérieures</u> fixes sont montées <u>glissantes</u>.</li> </ul> <p><b><u>Arrêts axiaux des bagues</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les <u>bagues extérieures</u> sont arrêtées par <u>quatre</u> obstacles.</li> <li>▪ Les <u>bagues intérieures</u> sont arrêtées par <u>deux</u> obstacles.</li> </ul>

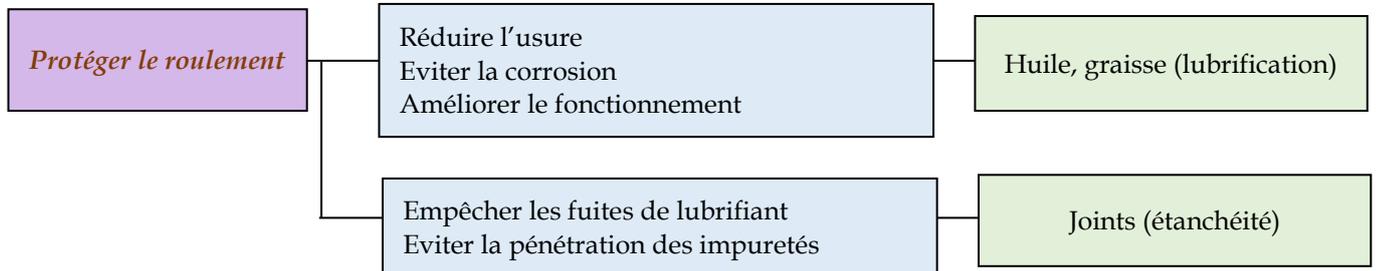
Technologies des arrêts axiaux des roulementsExemples de montages (roulements à billes à contact radial)Montage à arbre tournant

- 1 : écrou à encoches
- 2 : rondelle frein
- 3 : roulement à billes à contact radial
- 4 : arbre
- 5 : moyeu
- 6 : entretoise
- 7 : roulement à billes à contact radial
- 8 : anneau élastique (circlips)

Montage à alésage tournant

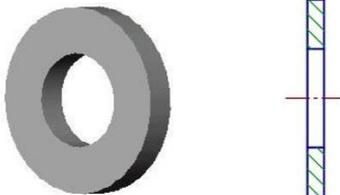
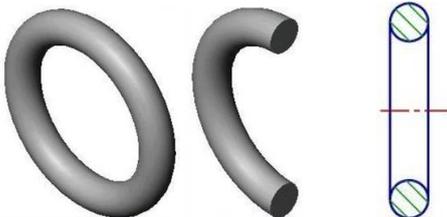
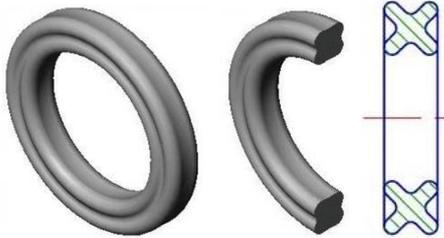
- 1 : écrou à encoches
- 2 : rondelle frein
- 3 : roulement à billes à contact radial
- 4 : arbre
- 5 : moyeu
- 6 : entretoise
- 7 : roulement à billes à contact radial
- 8 : couvercle



Protection des roulements

On distingue :

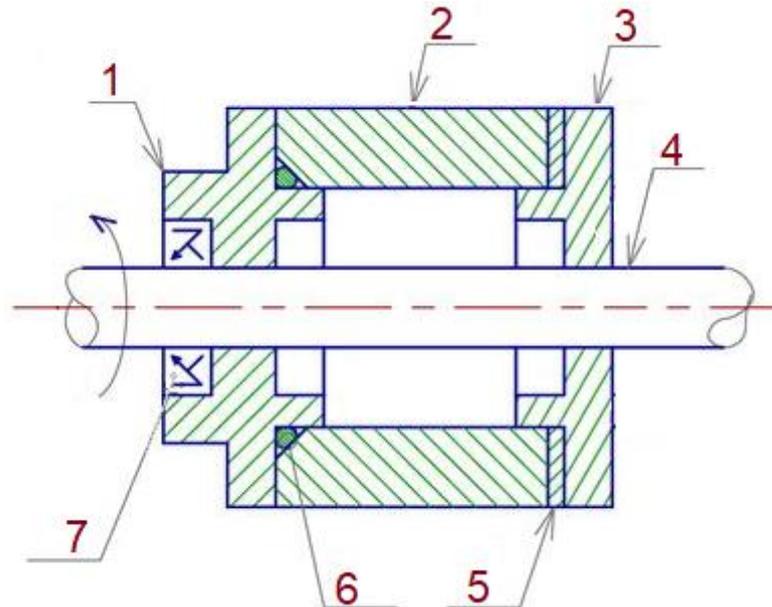
- Les **joints statiques** (joints plats, joints toriques...) qui sont interposées entre deux surfaces immobiles l'une par rapport à l'autre. L'étanchéité se fait soit par compression (joint plat), soit par déformation (joint torique) ;
- Les **joints dynamiques** (joints à lèvres, V-ring...) utilisés pour les pièces rotatives ou coulissantes.

Joint	Etanchéité	Représentation
<b><u>Joint plat</u></b>	Statique	
<b><u>Joint torique</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statique</li> <li>• Dynamique (translation à vitesse réduite)</li> </ul>	
<b><u>Joint à quatre lobes</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statique</li> <li>• Dynamique (translation)</li> </ul>	

		Joint à 1 lèvre	Joint à 2 lèvres	Joint V-ring
<u>Joint à lèvres</u>	Dynamique (rotation)			

**Exercice**

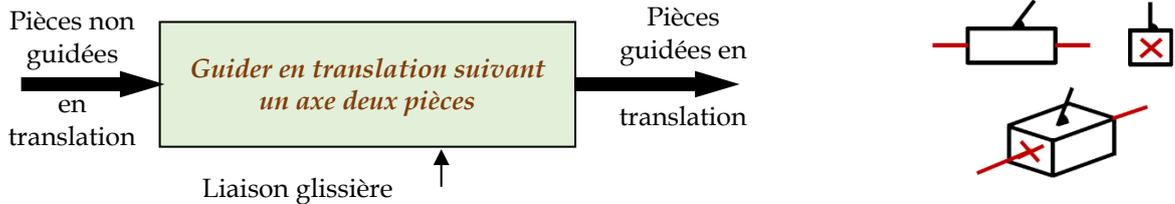
Compléter le tableau d'étanchéité.



Repère du joint	Désignation	Type d'étanchéité	Entre les pièces
5	Plat	Statique	2 et 3
6	Torique	"	1 et 2
7	A 2 lèvres	Dynamique	1 et 4

## Guidage en translation : la liaison glissière

Le guidage en translation est la solution constructive qui réalise une liaison **glissière** entre deux pièces.  
Le seul mouvement possible entre les deux pièces, appelées alors **coulisseau** (partie mobile) et **glissière** ou **guide** (partie fixe), est une translation rectiligne.



Une liaison glissière peut être réalisée :

- ⇒ Par contact direct : forme cylindrique ; forme prismatique.
- ⇒ Par interposition d'éléments roulants.

### Par contact direct

Cette solution convient lorsque les vitesses de déplacement sont faibles ou modérées. Une bonne lubrification est nécessaire.

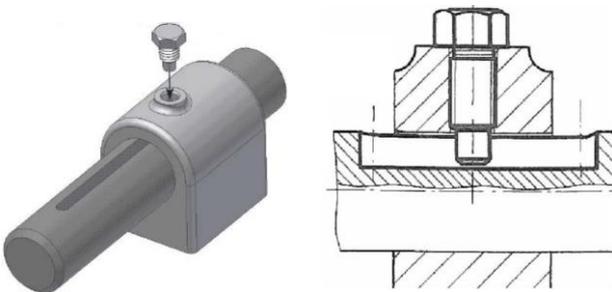
Inconvénients : frottement élevé, dégradation de la précision par usure.

#### Par contact direct sur forme cylindrique

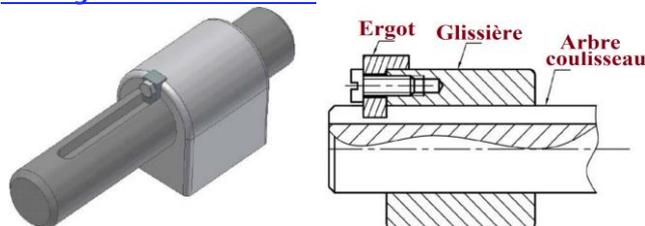
Ce guidage est réalisé par l'association d'une surface de contact cylindrique (supprimant quatre degrés de liberté) et d'un arrêt en rotation.

L'arrêt en rotation peut être réalisé à l'aide d'une clavette ou de cannelures.

#### Par vis et arbre rainuré



#### Par ergot et arbre rainuré



#### Par contact direct sur forme prismatique

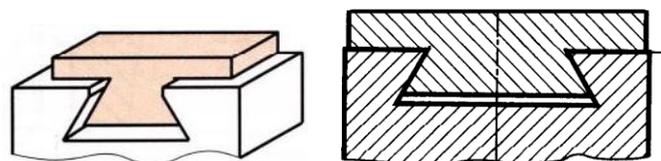
Le guidage de type prismatique associe des surfaces de contact planes. Il peut comporter un dispositif de réglage du jeu permettant de rattraper l'usure.

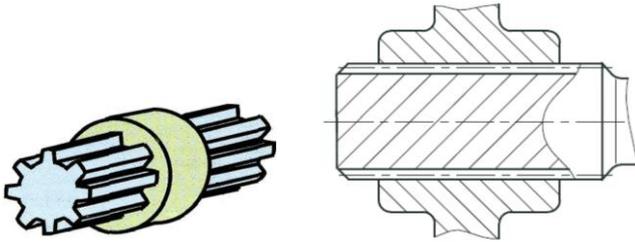
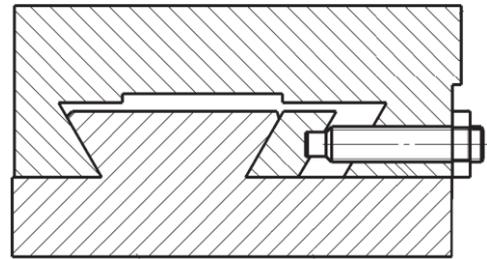
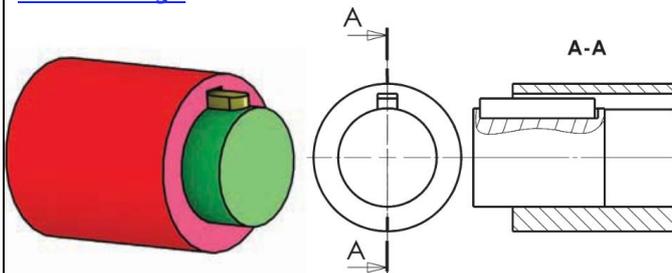
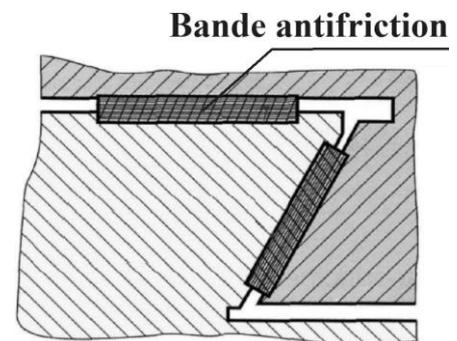
Les frottements peuvent être diminués par l'interposition d'éléments antifrottement (bronze, Nylon...)

#### Rainure en T



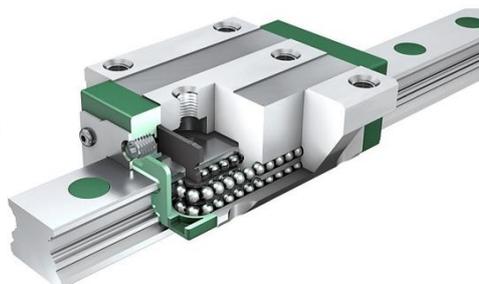
#### Queue d'aronde



Par canneluresAvec réglage de jeuPar clavetageAvec interposition d'éléments antifrictionPar deux pivots glissantsPar interposition d'éléments roulants

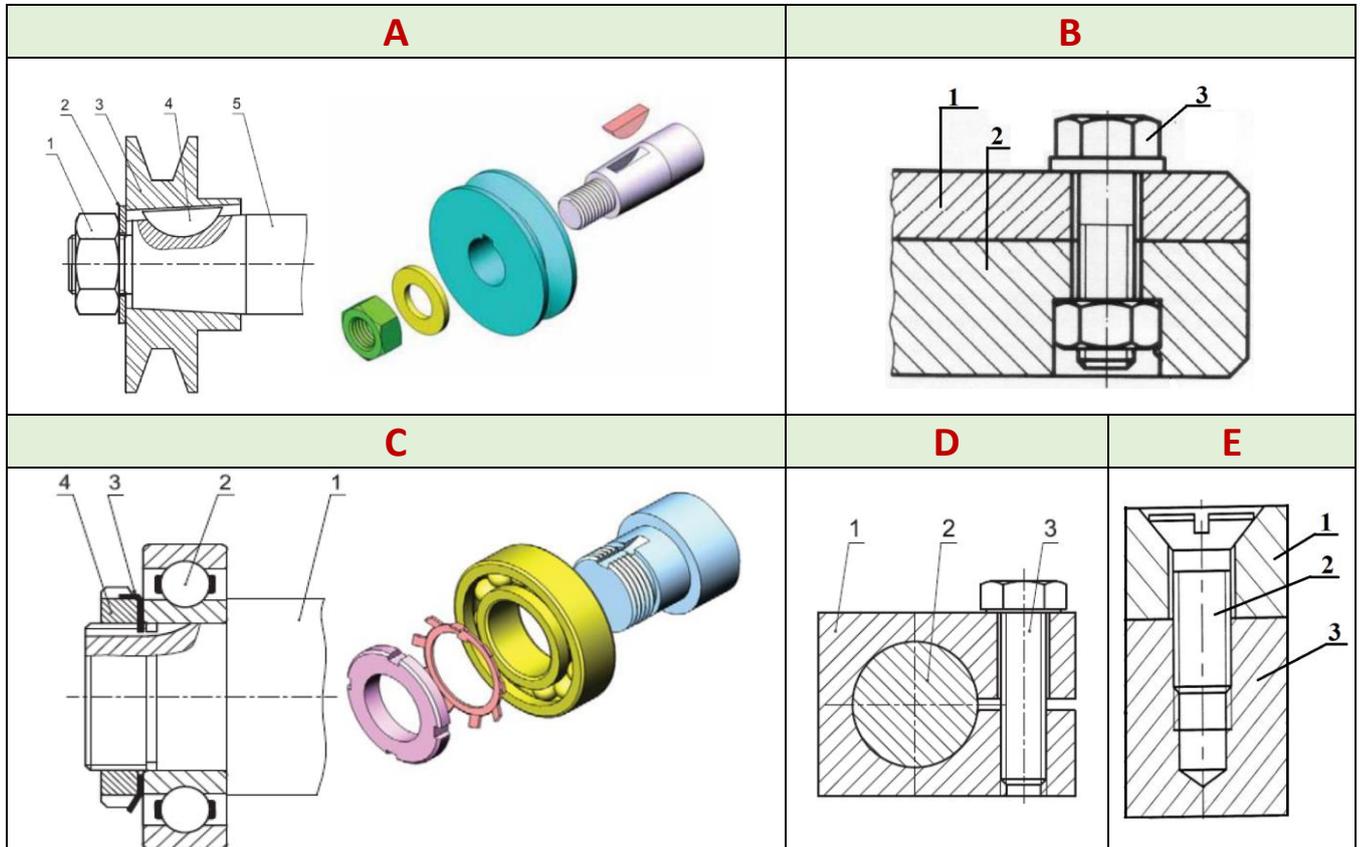
Le guidage par éléments roulants repose sur le principe de remplacer le glissement par du roulement.

Avantages : cette solution admet des vitesses importantes, offre un bon rendement, une grande précision de positionnement et une capacité de charge élevée.

Douille à billesRecirculation de billesRail et galets

Exercices

1. Pour chacun des cas, préciser les noms des pièces repérées ainsi que la solution adoptée pour la réalisation de la liaison encastrement.



A) 1: écrou H (Hexagonal)  
2: rondelle plate  
3: poulie  
4: clavette disque  
5: arbre  
Solution: clavette (par obstacle)

B) 1 et 2: pièces à assembler  
3: boulon  
Solution: boulon (par adhérence)

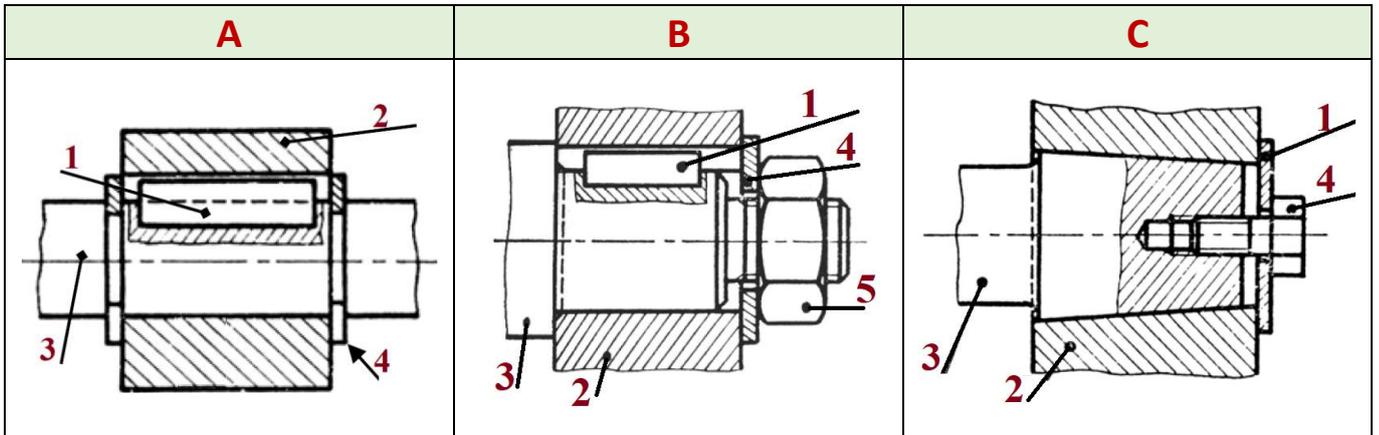
C) 1: arbre  
2: roulement à billes à contact radial (BC)

3: rondelle frein  
4: écrou à encoches  
Solution: ajustement serré (par adhérence)

D) 1 et 2: pièces à assembler  
3: vis à tête hexagonale  
Solution: pincement (par adhérence)

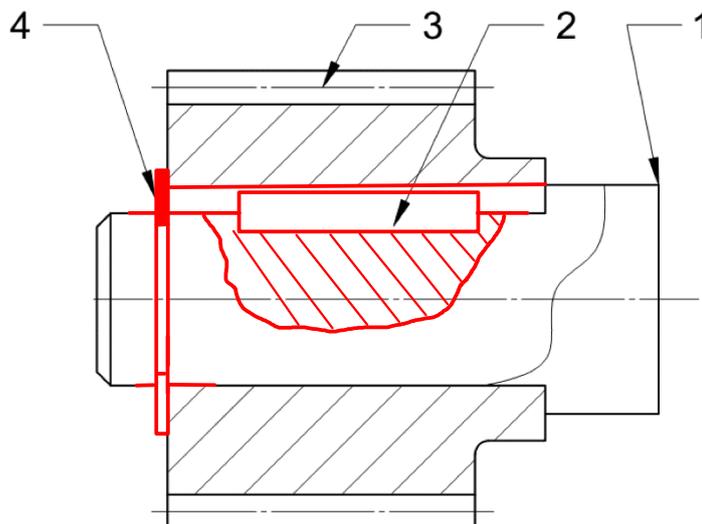
E) 1 et 2: pièces à assembler  
3: vis à tête fraisée fendue  
Solution: vis d'assemblage (par adhérence)

2. Compléter le tableau caractéristique de la liaison entre les pièces 2 et 3 dans chacun des cas suivants :

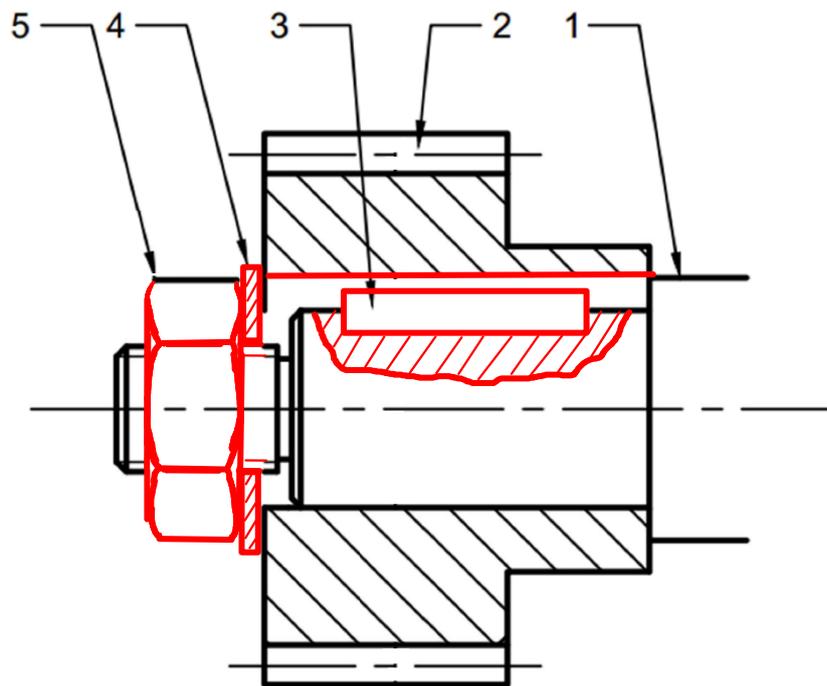


	Solution constructive	MIP	MAP
A	Clavetage...	Surface cylindrique " ..... plane clavette	Anneaux élastiques
B	Clavetage...	" " ..... "	Ecrou + ..... rondelle
C	Coincement	Surface conique	Vis + ..... rondelle

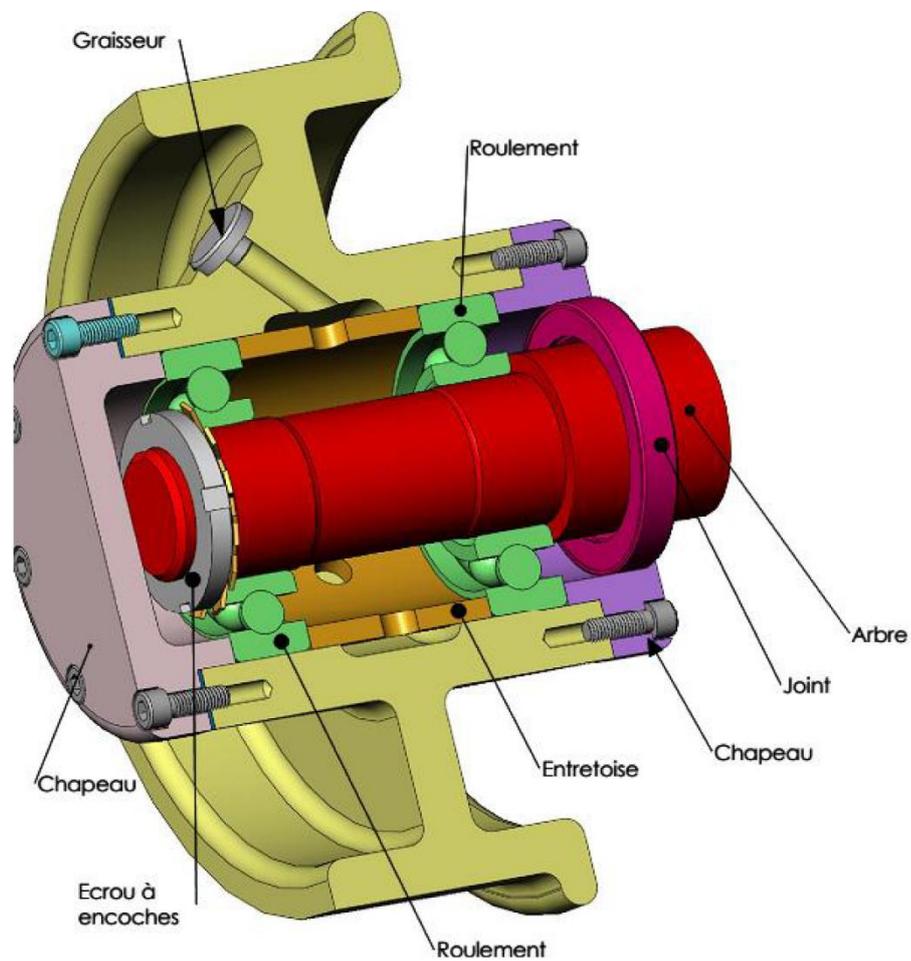
3. Compléter le dessin de la liaison encastrement entre 1 et 3 par une clavette 2 et un anneau élastique 4.

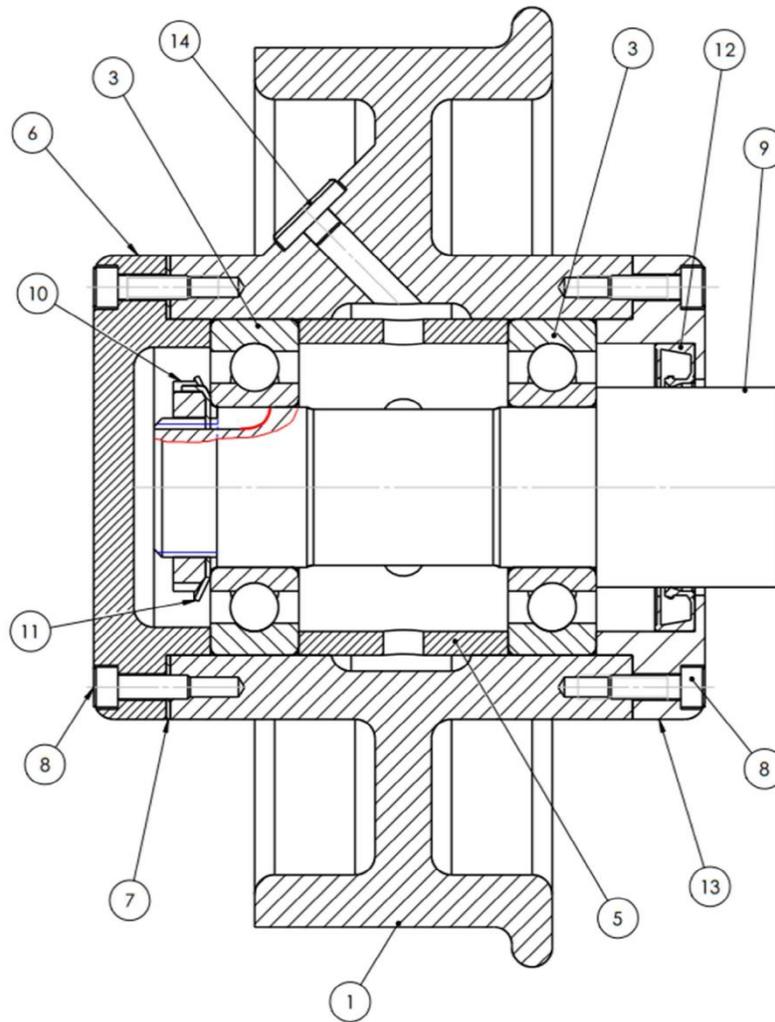


4. Dessiner la liaison encastrement entre 1 et 2 utilisant une clavette (3), un écrou H (5) et une rondelle plate (4).



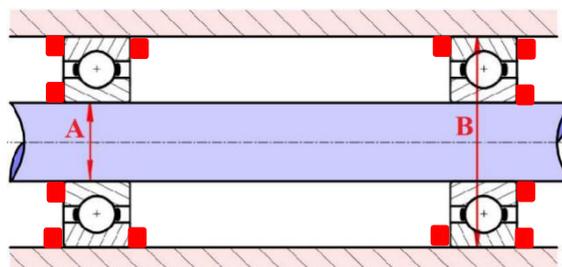
5. Roue de wagonnet





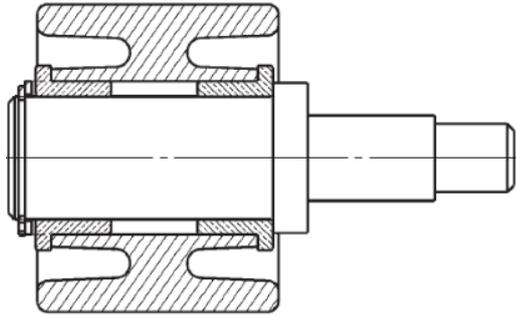
- a. Par analogie entre les deux dessins, compléter la nomenclature.
- b. Indiquer les emplacements des arrêts axiaux et préciser les types des ajustements A et B.

8	Vis CHC (à 6 pans creux)	14	Graisseurs (bouchon de remplissage)
7	Joint d'étanchéité	13	Couvercle (chapeau)
6	Couvercle (chapeau)	12	Joint à lèvres
5	Entretoise	11	Rondelle frein
3	Roulement	10	E-crou à encoches
1	Roue motrice (élément tournant)	9	Arlare
Repère	Désignation	Repère	Désignation



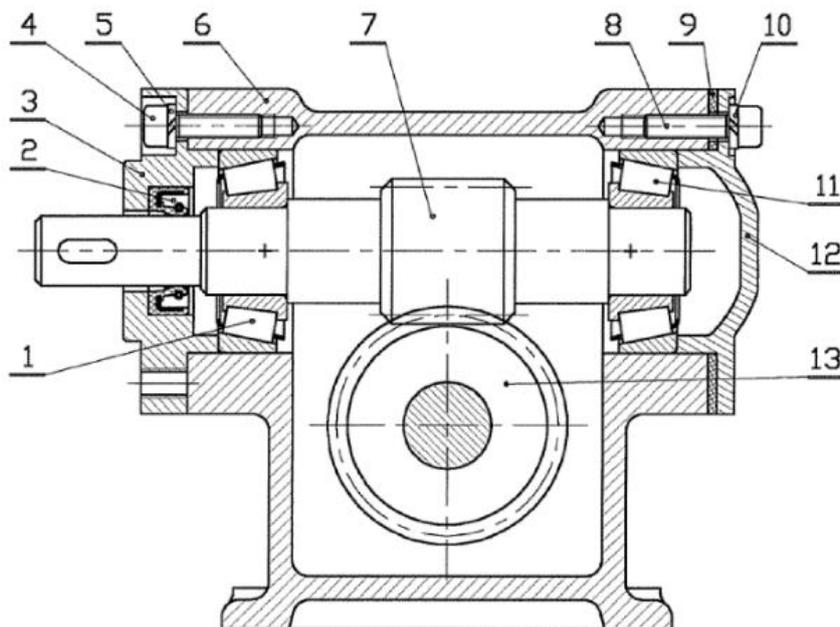
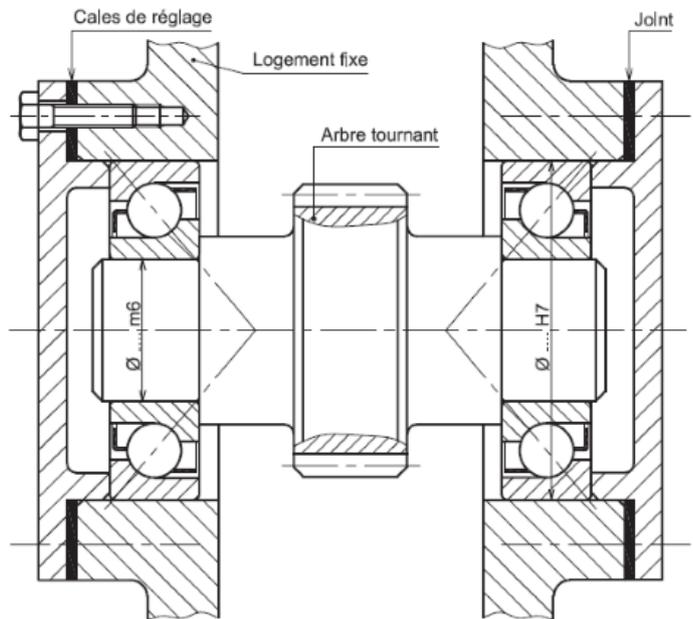
A : ajustement avec jeu  
B : ajustement serré

6. Identifier la solution constructive réalisant le guidage en rotation.



...Par coussinet.....  
.....

...Par roulement à une rangée de billes à contact oblique.....

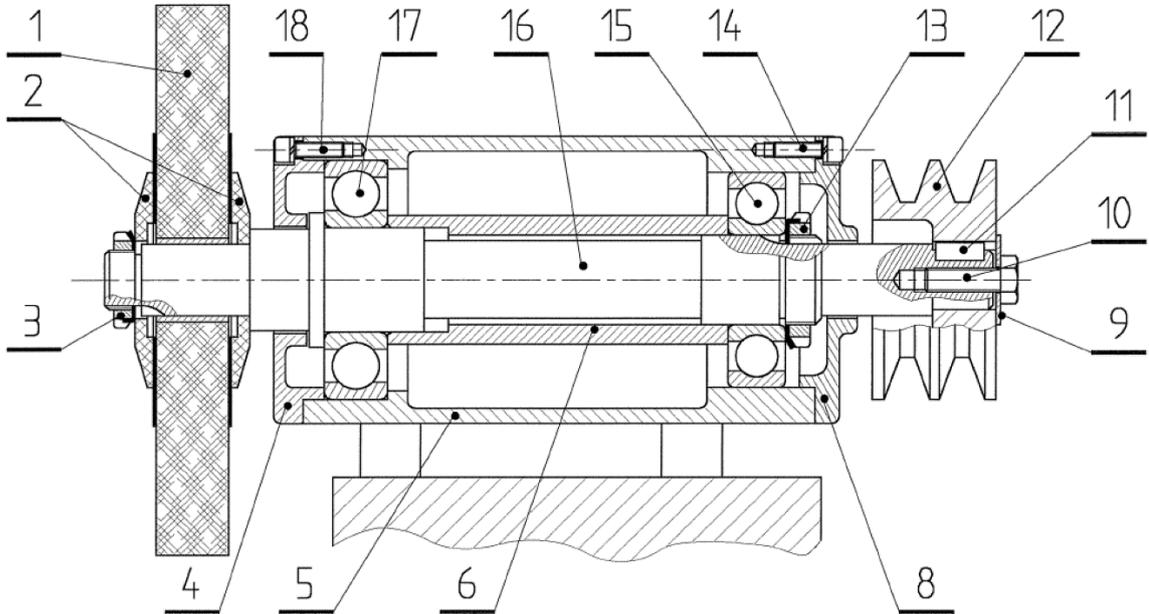


...Par roulement à rouleaux coniques.....

7. Montages de roulements

Les mécanismes suivants utilisent un guidage en rotation par roulements ; compléter les tableaux.

Montage 1

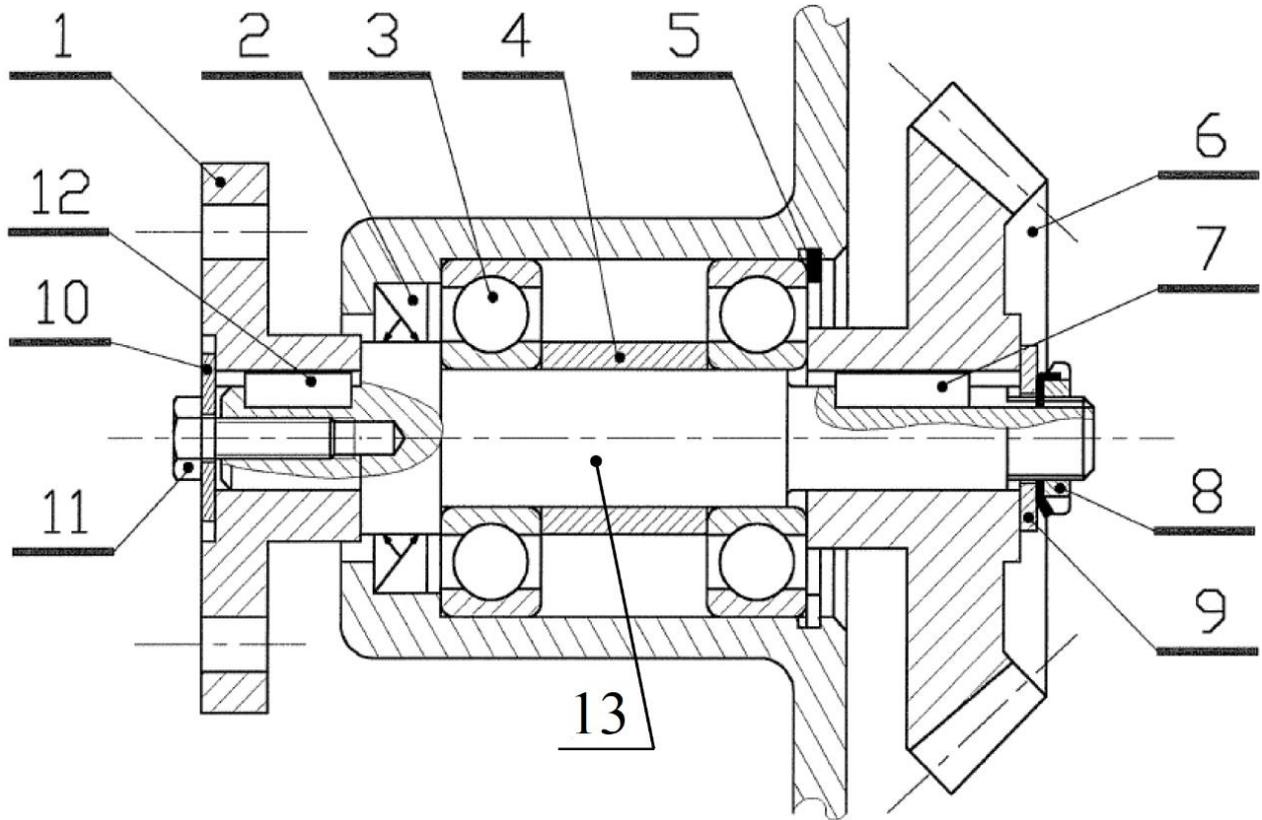


Repère des Roulements	Type des roulements	Arrêts	Élément tournant	Ajustements
15...et...17	A une rangée de billes à contact radial		Arbre	Bague intérieure : <b>Arrê</b> Bague extérieure : <b>avec jeu</b>

Liaison 12-16	MIP : <b>surface cylindrique + clavette</b> MAP : <b>vis à tête H + rondelle</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input checked="" type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input checked="" type="checkbox"/> Indirecte <input type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : <b>...</b>
---------------	---	--	--	---------------------------

Liaison 5-8	MIP : <b>Appui plan + centrage court</b> MAP : <b>...vis</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input checked="" type="checkbox"/> Indirecte <input checked="" type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : <b>.....</b> <b>rondelle élastique (Grower)</b>
-------------	---	---	---	---

Montage 2

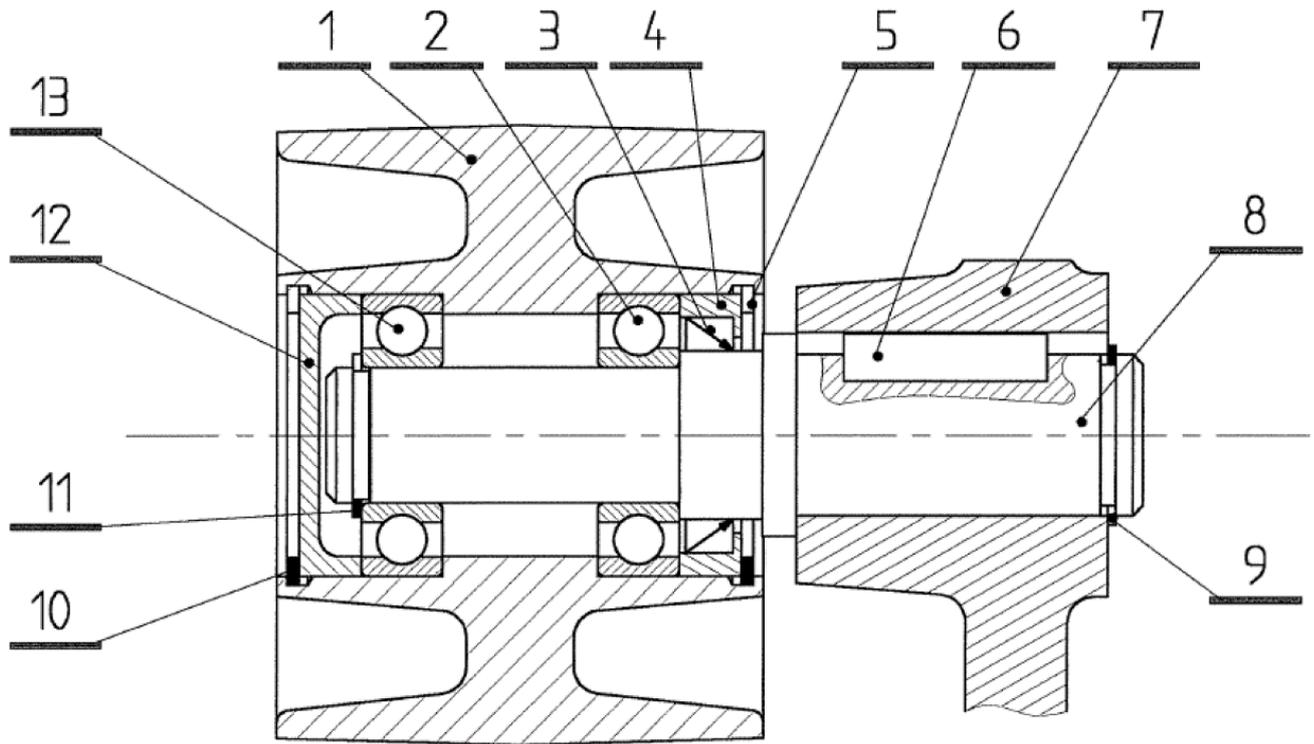


Repère des Roulements	Type des roulements	Arrêts	Élément tournant	Ajustements
3.....	A une rangée de billes à contact radial		Arbre	Bague intérieure : ...Serre  Bague extérieure : ..... glissant (avec jeu)

Liaison 6-13	MIP : ...Surface cylindrique + appui plan + clavette MAP : ...écrou à encoches + rondelle frein	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input checked="" type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input type="checkbox"/> Indirecte <input checked="" type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : ..... écrou à encoches + rondelle frein
--------------	--	--	--	---

Liaison 1-13	MIP : ...Surface cylindrique + appui plan + clavette MAP : ...écrou H + rondelle plate	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input checked="" type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input type="checkbox"/> Indirecte <input checked="" type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : ..... -
--------------	---	--	--	---------------------------

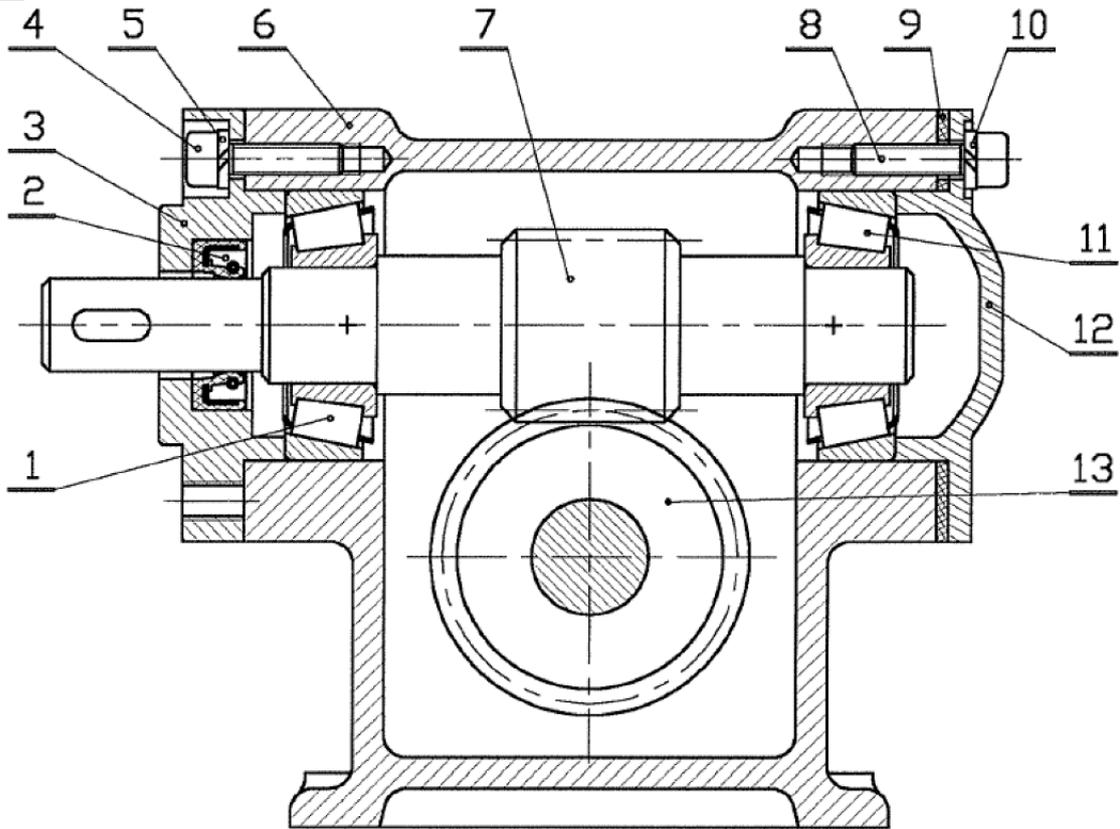
Montage 3



Repère des Roulements	Type des roulements	Arrêts	Élément tournant	Ajustements
2 et 13	A une rangée de billes à contact radial		Moyen	Bague intérieure : avec jeu Bague extérieure : serré

Liaison 7-8	MIP : Surface cylindrique (centrée) + clavette MAP : Anneau élastique	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input checked="" type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input type="checkbox"/> Indirecte <input checked="" type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : .....
-------------	--	--	--	----------------------

Montage 4



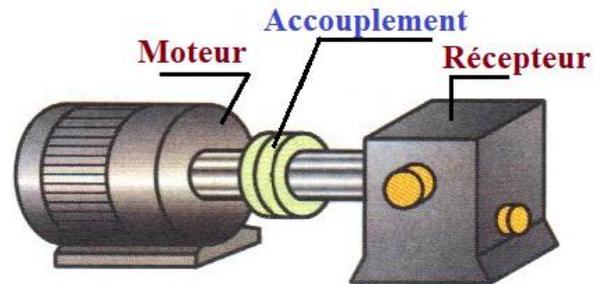
Repère des Roulements	Type des roulements	Arrêts	Elément tournant	Ajustements
1 et 11	Roulement à ..... rouleaux conique		Arbre	Bague intérieure : serré Bague extérieure : avec jeu

Liaison 3-6	MIP : ... Centrage court + appui plan MAP : ...vis	<input checked="" type="checkbox"/> Complète <input checked="" type="checkbox"/> Démontable <input type="checkbox"/> Directe <input type="checkbox"/> Par obstacle <input checked="" type="checkbox"/> Rigide	<input type="checkbox"/> Partielle <input type="checkbox"/> Indémontable <input checked="" type="checkbox"/> Indirecte <input checked="" type="checkbox"/> Par adhérence <input type="checkbox"/> Élastique	Freinage par : ..... rondelle Grower
----------------	---	---	---	---

## Transmission sans transformation de mouvement et sans modification de vitesse

### Accouplements

Un accouplement est un dispositif de liaison entre deux arbres en rotation, permettant la transmission du couple sans modification de la fréquence de rotation et d'une manière permanente.

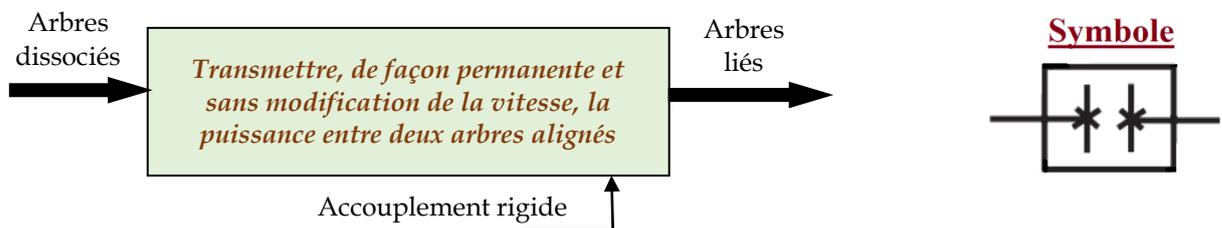


Il existe 2 grands types d'accouplements :

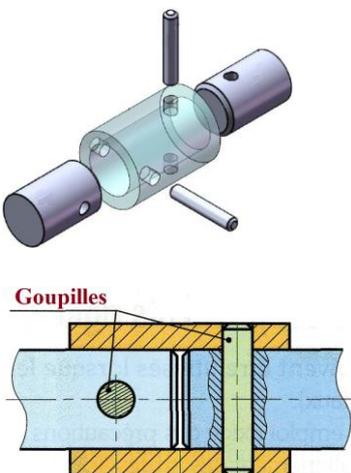
- Les **accouplements rigides** : nécessitent un bon alignement des arbres et peu de vibrations.
- Les **accouplements élastiques** : permettent de rattraper les défauts d'alignement et d'amortir vibrations.

Un accouplement est dit **homocinétique** lorsque les vitesses de rotation des arbres accouplés sont identiques à tout moment.

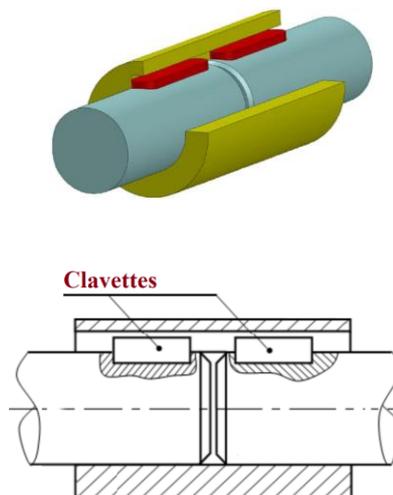
### Accouplement rigide



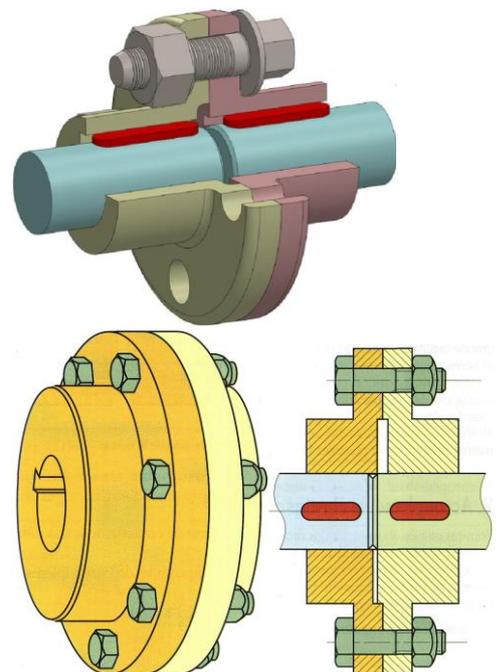
#### Manchon goupillé



#### Manchon et clavettes

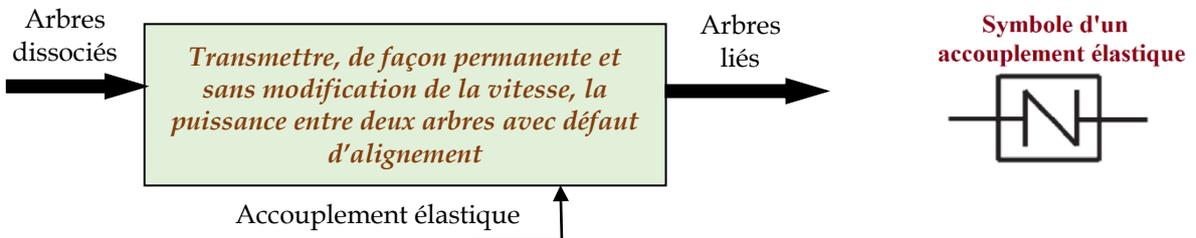


#### Manchon à plateaux

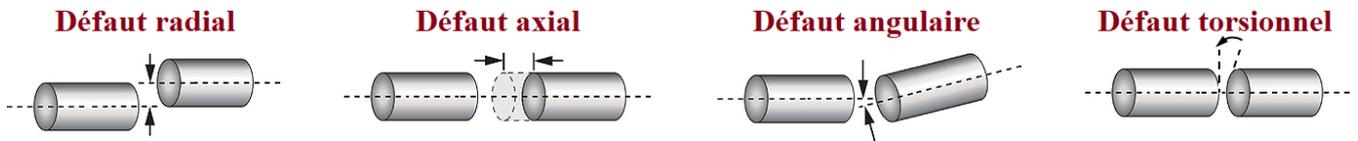


## Accouplement élastique

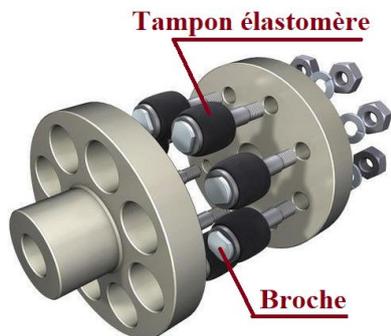
Ce type d'accouplement permet de rattraper les défauts d'alignement et d'amortir les vibrations. Il peut comporter un élément intermédiaire élastique (élastomère ou métal).



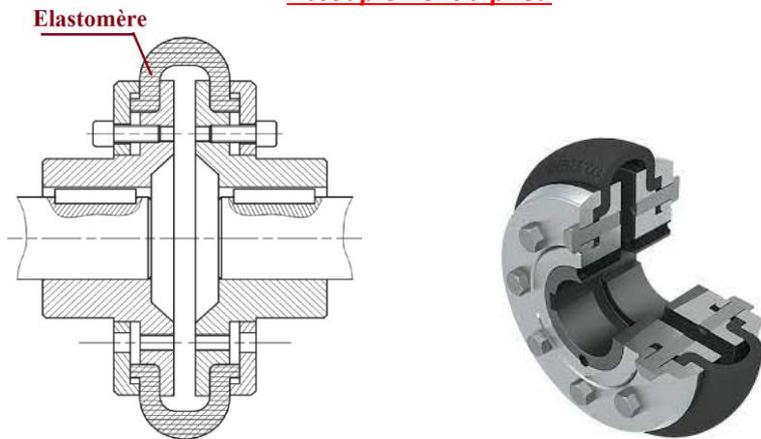
### Défauts d'alignement



### Accouplement à broches



### Accouplement à pneu



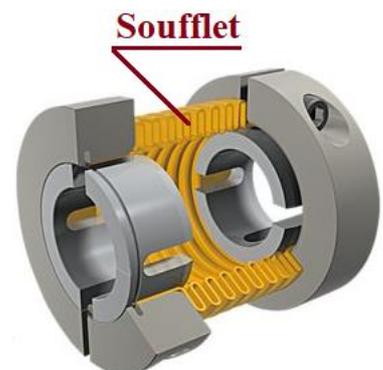
### Accouplement élastomère à griffes



### Accouplement à denture



### Accouplement à soufflet métallique



### Joint d'Oldham

Un accouplement par joint d'Oldham permet de transmettre une puissance mécanique de rotation entre deux axes parallèles non coaxiaux (supporte des désalignements radiaux).

La transmission est homocinéétique.

Le joint d'Oldham est composé de :

- Deux plateaux portant chacun une languette diamétrale. Les plateaux sont solidaires des arbres accouplés ;
- Un disque intermédiaire avec deux rainures perpendiculaires.

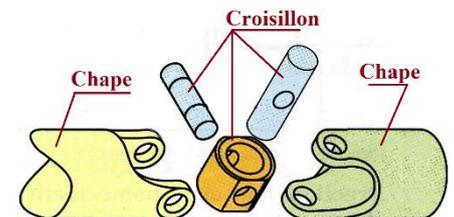


### Joint de Cardan

Le joint de cardan permet la transmission entre deux arbres dont les axes concourent en un même point.

Il offre aux arbres une liberté angulaire variable et importante.

Il est composé essentiellement de deux chapes et d'un croisillon.

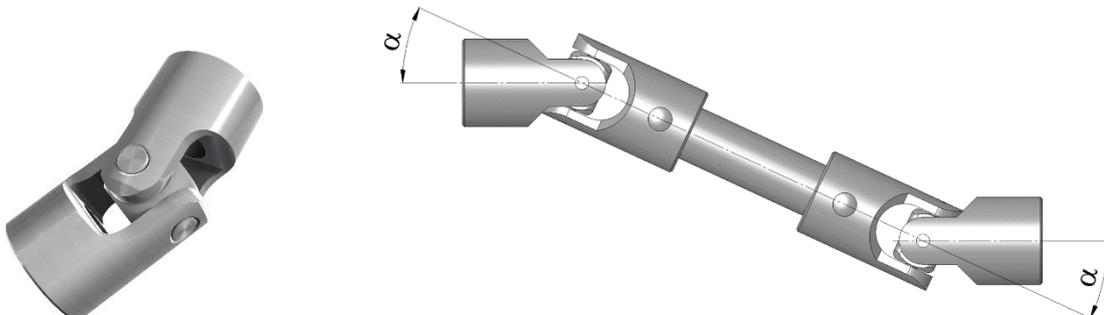


Le cardan présente l'inconvénient de ne pas être homocinéétique. Le montage d'un deuxième cardan, incliné d'un même angle, permet de remédier à cet inconvénient.

Le double joint de cardan est la solution la plus compacte pour obtenir un accouplement homocinéétique.

Joint de cardan simple (non homocinéétique)

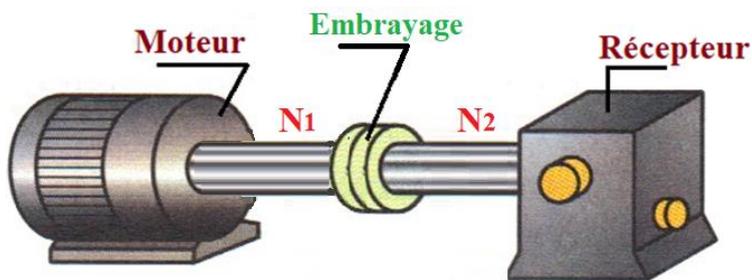
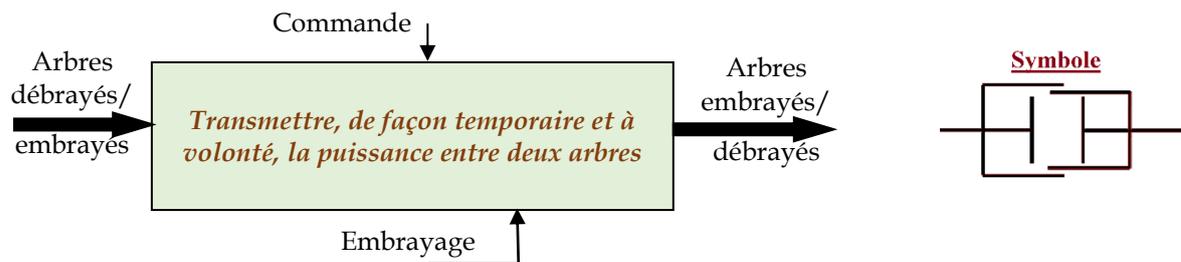
Joint de cardan double (homocinéétique)



## Embrayages

L'embrayage est un dispositif d'accouplement temporaire ; il permet d'accoupler (embrayer) ou de désaccoupler (débrayer) à volonté un arbre moteur et un arbre récepteur.

La commande peut être mécanique, électromagnétique, pneumatique, hydraulique ou encore automatique.



En cas d'embrayage,  $N2 = N1$   
En cas de débrayage,  $N2 = 0$

On distingue :

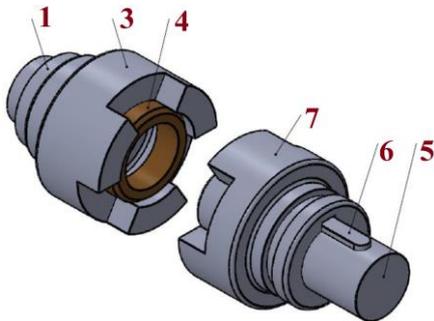
- Les **embrayages instantanés** : la transmission se fait par obstacle ;
- Les **accouplements progressifs** : la transmission se fait par adhérence.

## Embrayage instantané

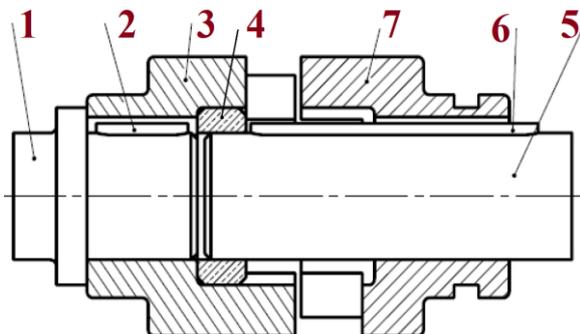
C'est un embrayage dont l'entraînement se fait par obstacle ; l'engrènement est obtenu par une denture carrée, triangulaire ou trapézoïdale.

La conception d'un embrayage instantané est simple et économique. Sa manœuvre se fait obligatoirement à l'arrêt.

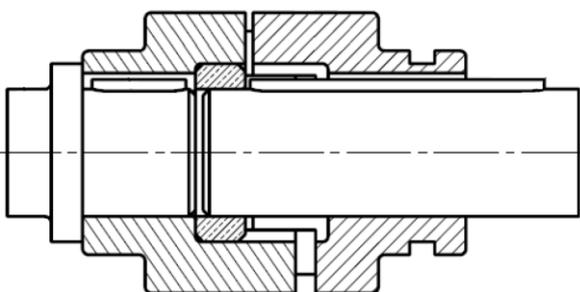
### Embrayage à crabots



#### Position débrayée



#### Position embrayée

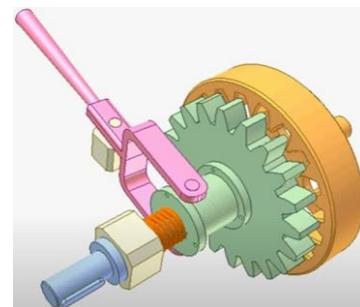


- |                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| 1 : arbre moteur      | 5 : arbre récepteur |
| 2 : clavette          | 6 : clavette        |
| 3 : crapot fixe       | 7 : crapot mobile   |
| 4 : bague de centrage |                     |

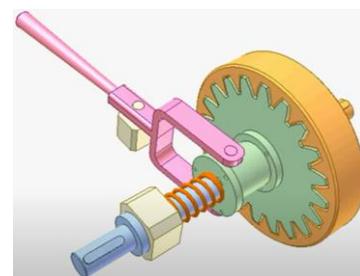
### Embrayage à dents



#### Position débrayée



#### Position embrayée



## Embrayage progressif

C'est un embrayage dont le mode d'entraînement se fait par friction. La manœuvre peut être effectuée en marche. Un embrayage progressif doit comprendre :

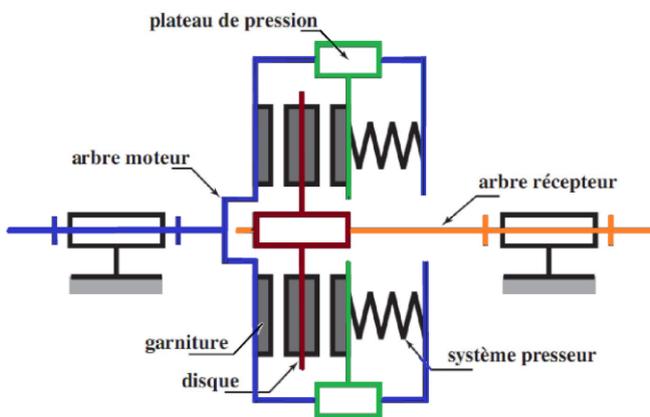
- Des surfaces de friction qui peuvent être planes, coniques ou cylindriques ;
- Un système exerçant un effort presseur (ressort le plus souvent).

### Garnitures de friction

Les surfaces de friction sont couvertes par de garnitures, genre ferodo, dotées de qualités telles que :

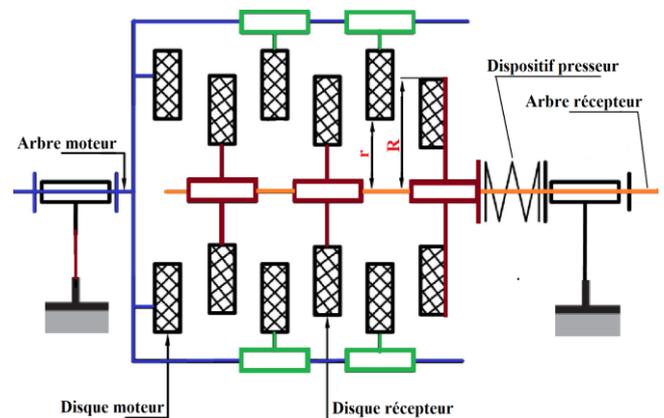
- Un important coefficient de frottement ;
- Une bonne résistance à l'usure, à l'échauffement et aux chocs mécaniques.

### Embrayage progressif à friction plane monodisque

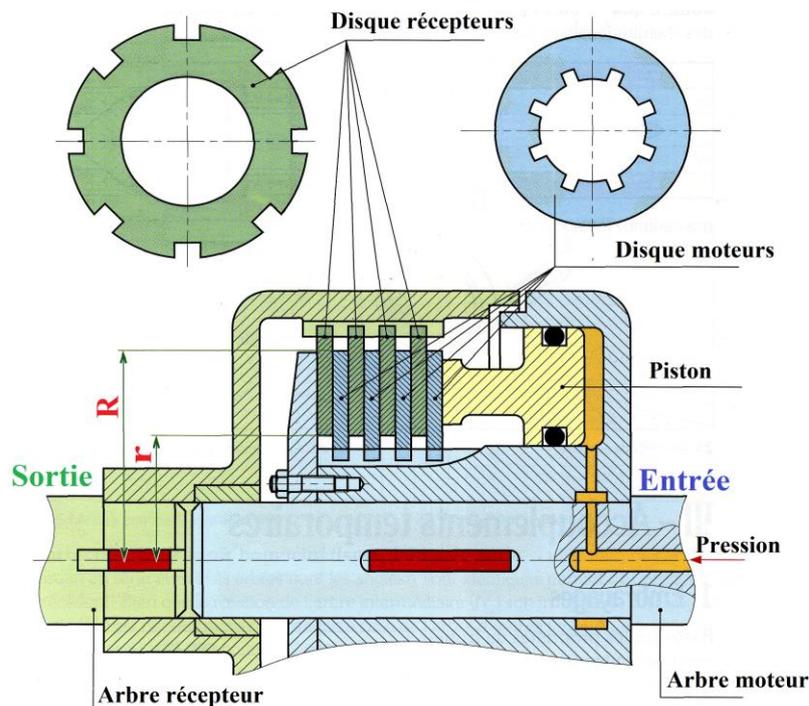


### Embrayage progressif à friction plane multidisque

En augmentant le nombre de disques, on augmente la surface de friction et donc le couple transmissible.



### Exemple : embrayage multidisque à commande pneumatique



Couple transmissible pour un embrayage à friction plane

Le couple transmissible s'exprime

$$C = \frac{2}{3} \cdot n \cdot f \cdot F \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \quad (\text{en N. m})$$

**n** : nombre de surfaces de contact

**F** : effort presseur (en N)

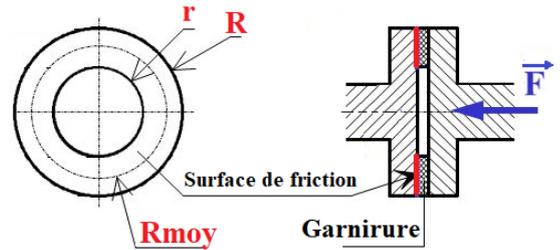
**f** : coefficient de frottement entre les surfaces frottantes

**r** : rayon intérieur du disque de friction (en m)

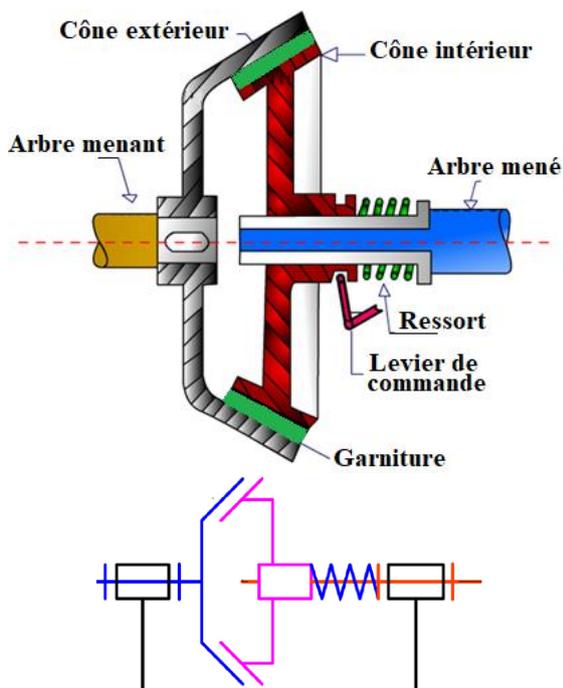
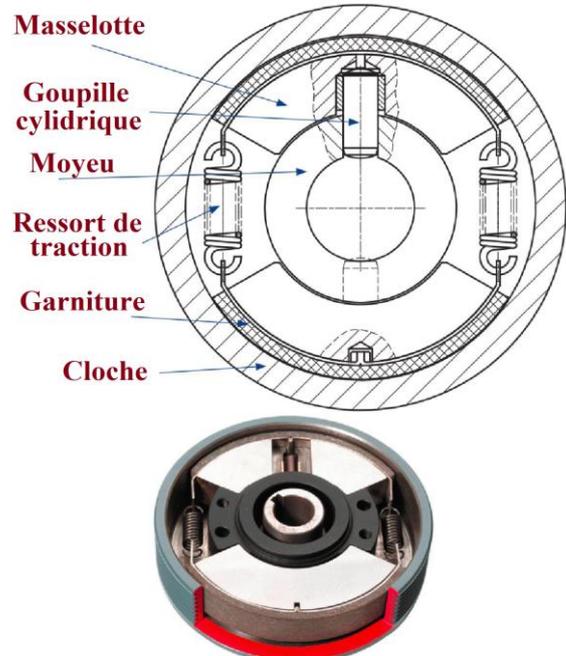
**R** : rayon extérieur du disque de friction (en m)

Formule approchée  $C = n \cdot f \cdot F \cdot R_{moy}$  (en N. m)

avec  $R_{moy} = \frac{R+r}{2}$

Exemples de réalisations de disquesEmbrayage progressif à friction conique

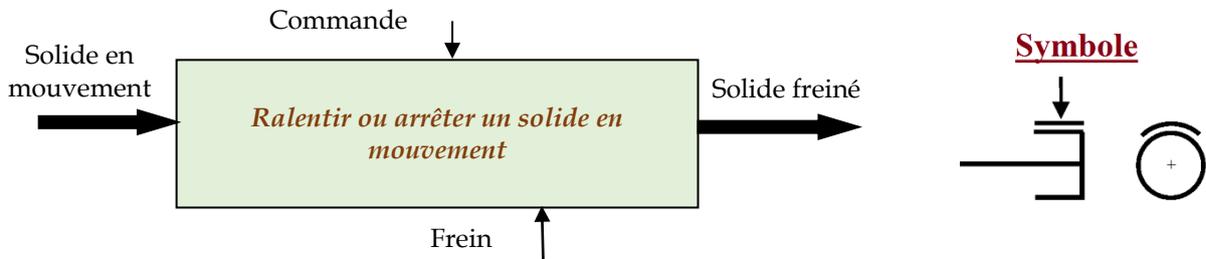
Le principe général d'un embrayage conique reste proche de celui d'un embrayage à friction plane. Un embrayage conique est moins progressif qu'un embrayage à disques.

Embrayage progressif à friction cylindrique centrifuge

A une vitesse de rotation suffisante et sous l'action de la force centrifuge agissant sur les masselottes, les garnitures de friction viennent au contact de la cloche. L'adhérence générée entre les garnitures et la cloche permet la transmission du couple.

## Freins

Un frein fonctionne de la même manière qu'un embrayage mis à part que l'un des arbres est fixe et sert de base pour arrêter progressivement le second.

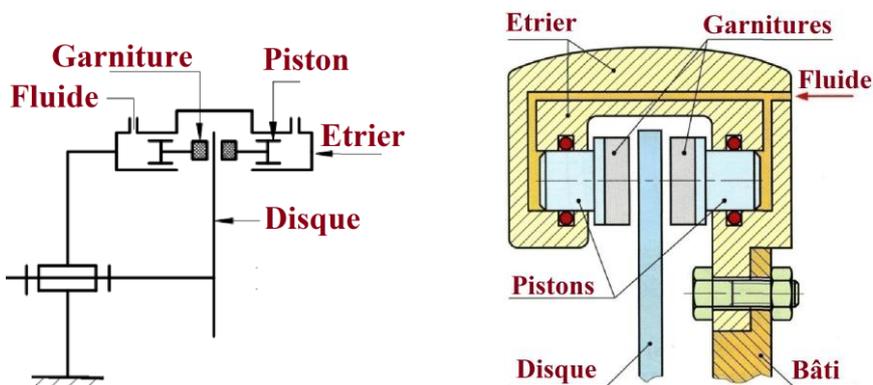
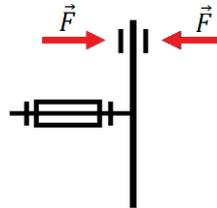


La commande du frein peut être mécanique, électromagnétique, pneumatique ou hydraulique. Un frein peut aussi servir à s'opposer à la mise en mouvement d'un organe arrêté. Nombreuses solutions constructives sont basées sur un contact mécanique entre deux solides (disques, sangles, tambours).

## Techniques de freinage

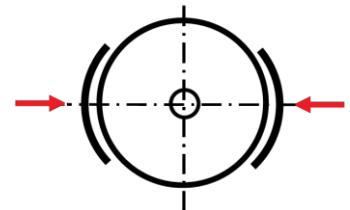
### Frein à disque

Très utilisé dans les voitures, ce frein comporte un disque qui tourne avec la roue. Lors du freinage, deux plaquettes recouvertes d'une garniture de friction viennent serrer le disque.



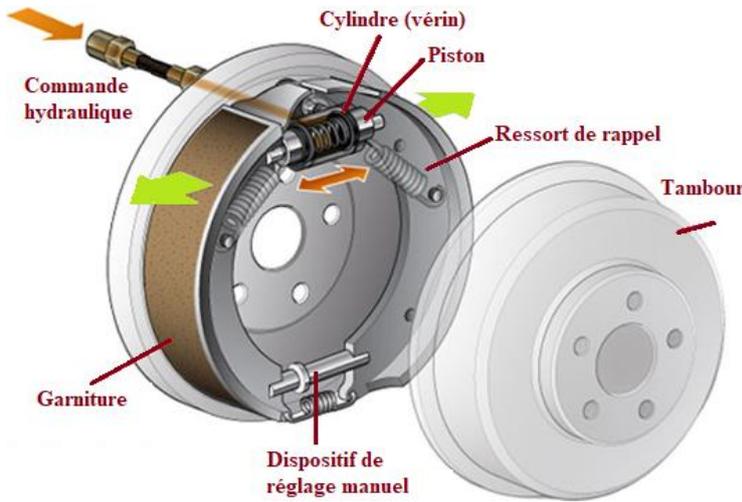
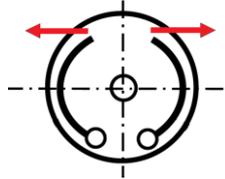
### Frein à sabots

Pendant le freinage, des pièces mobiles, les sabots, sont appliqués fortement contre l'élément à freiner.



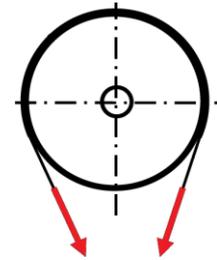
Frein à tambour

Suite à une commande de freinage (mécanique ou hydraulique), des mâchoires garnies d'un matériau de friction sont plaquées sur la partie intérieure du tambour, ce qui entraîne la dissipation de l'énergie cinétique de l'arbre en rotation par friction.



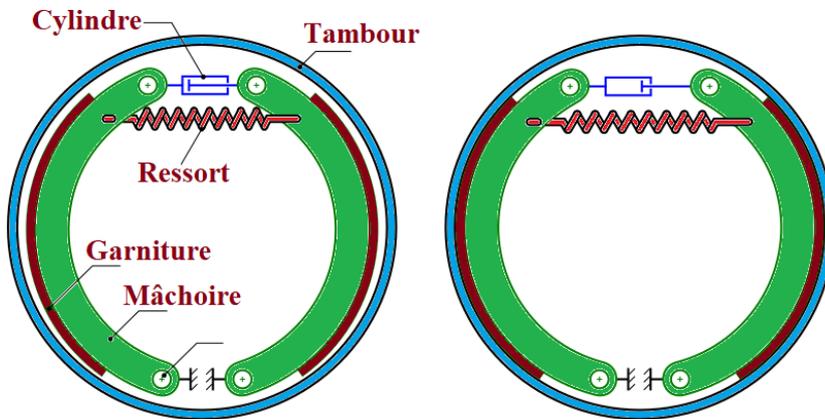
Frein à sangle

Une tension exercée au bout de la sangle (ou bande), sur laquelle est rapportée une garniture de friction, provoque son resserrement autour du tambour : un couple de freinage est créé.



Frein desserré

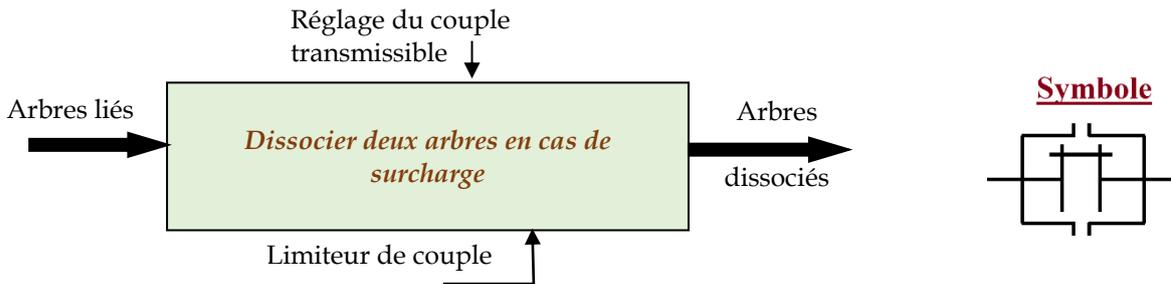
Frein serré



## Limiteurs de couple

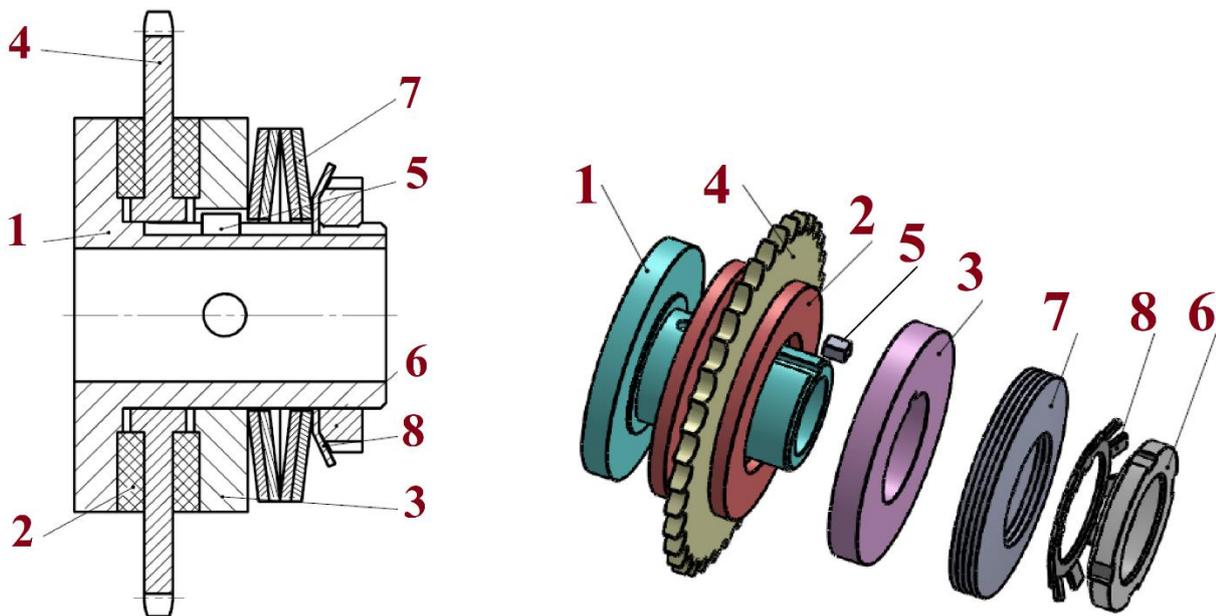
Un limiteur de couple est un composant de sécurité mécanique ; il ressemble à un embrayage au niveau des solutions constructives mais n'est pas piloté par une commande extérieure.

Au-delà d'un couple résistant limite (surcharge), un glissement interne se produit annulant temporairement la liaison entre les arbres moteur et récepteur. Lorsque le couple revient à une valeur inférieure à ce couple limite, la liaison est à nouveau établie.



### Limiteur de couple à friction

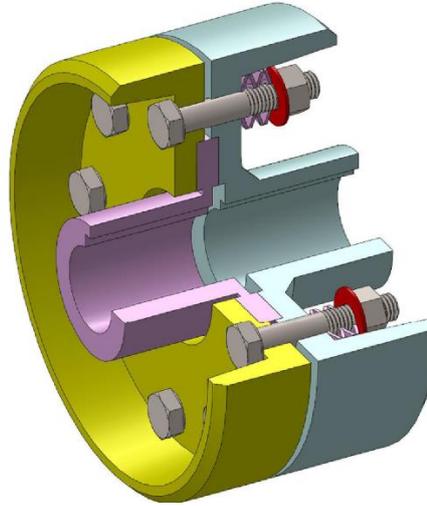
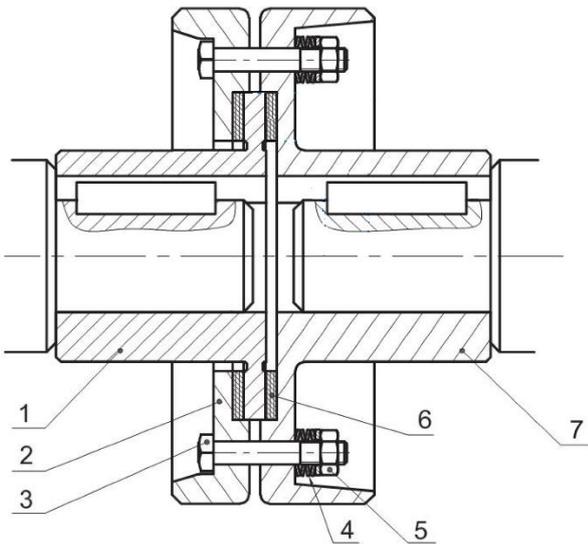
#### Exemple de solution constructive



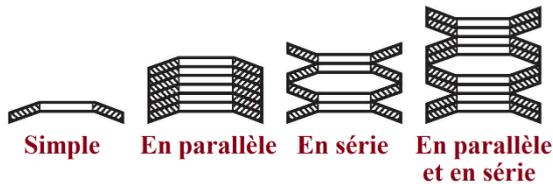
#### Fonctionnement

La transmission de mouvement de l'arbre 1 à la roue 4 est réalisée par adhérence. La roue 4 est maintenue serrée entre les garnitures de friction 2 par l'intermédiaire des rondelles ressort (ou Belleville) 7 et de l'écrou 6. En cas d'une surcharge (couple résistant dépasse sa valeur limite) ou de blocage dû à un obstacle, l'effort d'adhérence de la roue devient insuffisant et un glissement en rotation de la roue par rapport à l'arbre se produit, l'ensemble débraye.

Le réglage du couple admissible se fait en contrôlant l'écrasement des rondelles Belleville.

Variante

- 1 : Plateau moteur
- 2 : Plateau
- 3 : Vis H
- 4 : Rondelle Belleville
- 5 : Ecrou H
- 6 : Garniture de friction
- 7 : Plateau récepteur

Association de rondelles BellevilleExercices

## 8. Cocher la bonne réponse :

Un accouplement élastique est utilisé dans le cas :

- D'une transmission temporaire avec arbres parfaitement alignés.
- D'une transmission permanente avec défauts entre arbres.
- D'une transmission permanente sans défaut entre arbres.

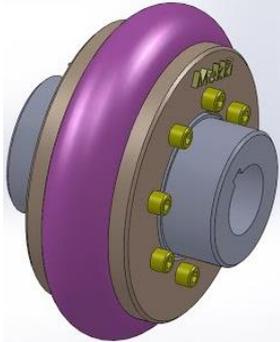
Un accouplement rigide est utilisé dans le cas :

- D'une transmission temporaire entre arbres parfaitement alignés.
- D'une transmission permanente entre arbres parfaitement alignés.
- D'une transmission permanente entre arbres concourants.

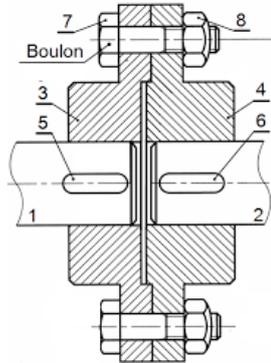
## 9. Quelles différences existent entre un embrayage instantané et un embrayage progressif ?

..... Embrayage instantané : par obstacle - se manoeuvre à l'arrêt. ....  
 ..... " ..... progressif : par adhérence - se manoeuvre à l'arrêt ou .....  
 ..... en marche. ....

## 10. Préciser si l'accouplement est rigide ou élastique.



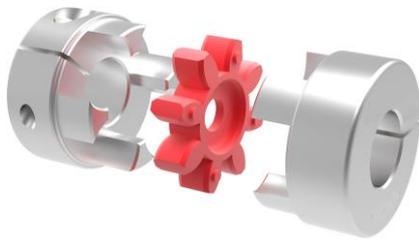
Elastique



Rigide



Rigide



Elastique

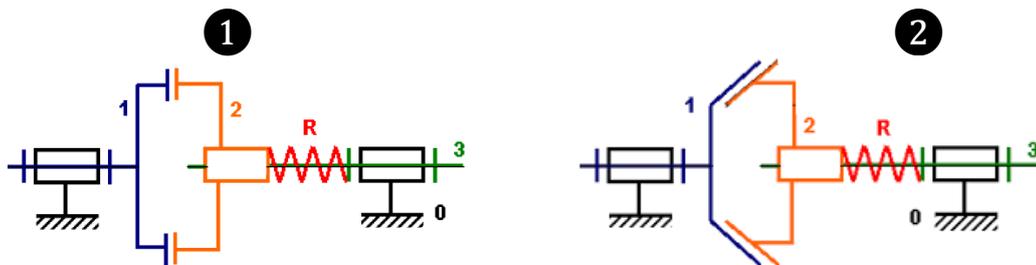


Rigide



Elastique

## 11. Embrayage progressif



- Donner le nom de chacun des deux mécanismes.

1: Embrayage progressif à friction plane.

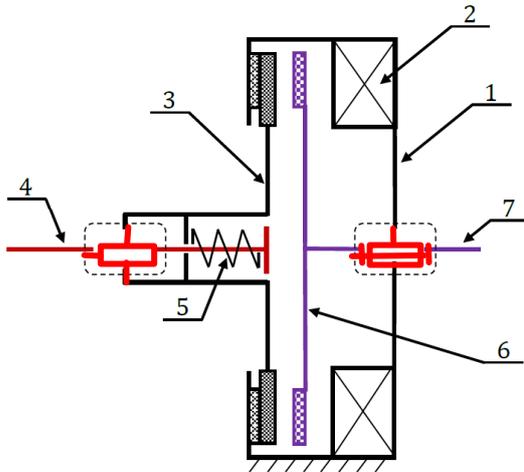
2: " " " " conique.

- Quelle est la différence entre les deux ?

Pour l'embrayage à friction conique, il y a coincement (à l'état embrayé, l'effort presseur devient inutile). De plus cet embrayage est moins progressif.

- Sachant que l'arbre 3 est moteur, quel est l'élément récepteur ? 1
- Préciser la fonction du ressort R. fournir l'effort presseur
- Sur quel élément faut-il agir pour embrayer/débrayer. 2

## 12. Embrayage-frein à commande électromagnétique

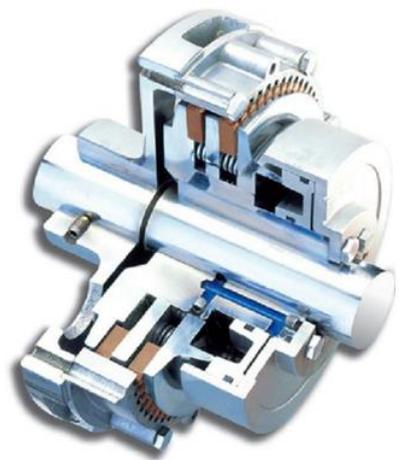
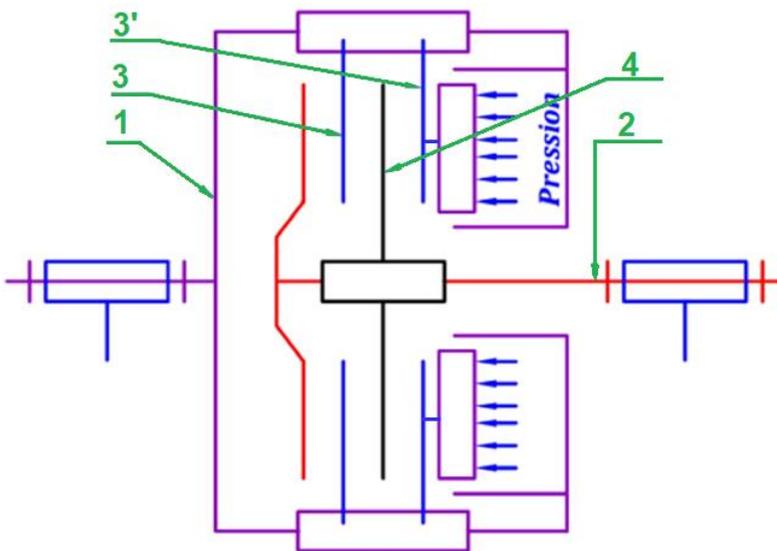


- 1 : bâti
- 2 : bobine de l'électroaimant
- 3 : disque de l'embrayage
- 4 : arbre récepteur
- 5 : ressort
- 6 : plateau moteur
- 7 : arbre moteur

- Dessiner les symboles des liaisons 3-4 et 6-7.
- Quelle position, embrayage ou freinage, est représentée sur la figure ? ..... *freinage* .....
- Suite à l'excitation de la bobine, le système bascule à l'autre position ; donner une explication.

..... *Quand la bobine 2 est alimentée, elle attire le disque 3 qui vient en contact avec le plateau moteur 6 : l'arbre de sortie 4 tourne → basculement de l'état "freiné" à l'état "embrayé".* .....

## 13. Embrayage



Données : L'effort presseur est fourni par une commande hydraulique et vaut 1500 N  
 $R = 120 \text{ mm}$      $r = 90 \text{ mm}$   
 Coefficient de frottement :  $f = 0,5$

- a. Quel est le nom complet de cet embrayage ?
- b. Quel est le rôle des ressorts.
- c. Calculer le couple transmissible par cet embrayage.

a) Embrayage à friction plane multidisque à commande hydraulique.

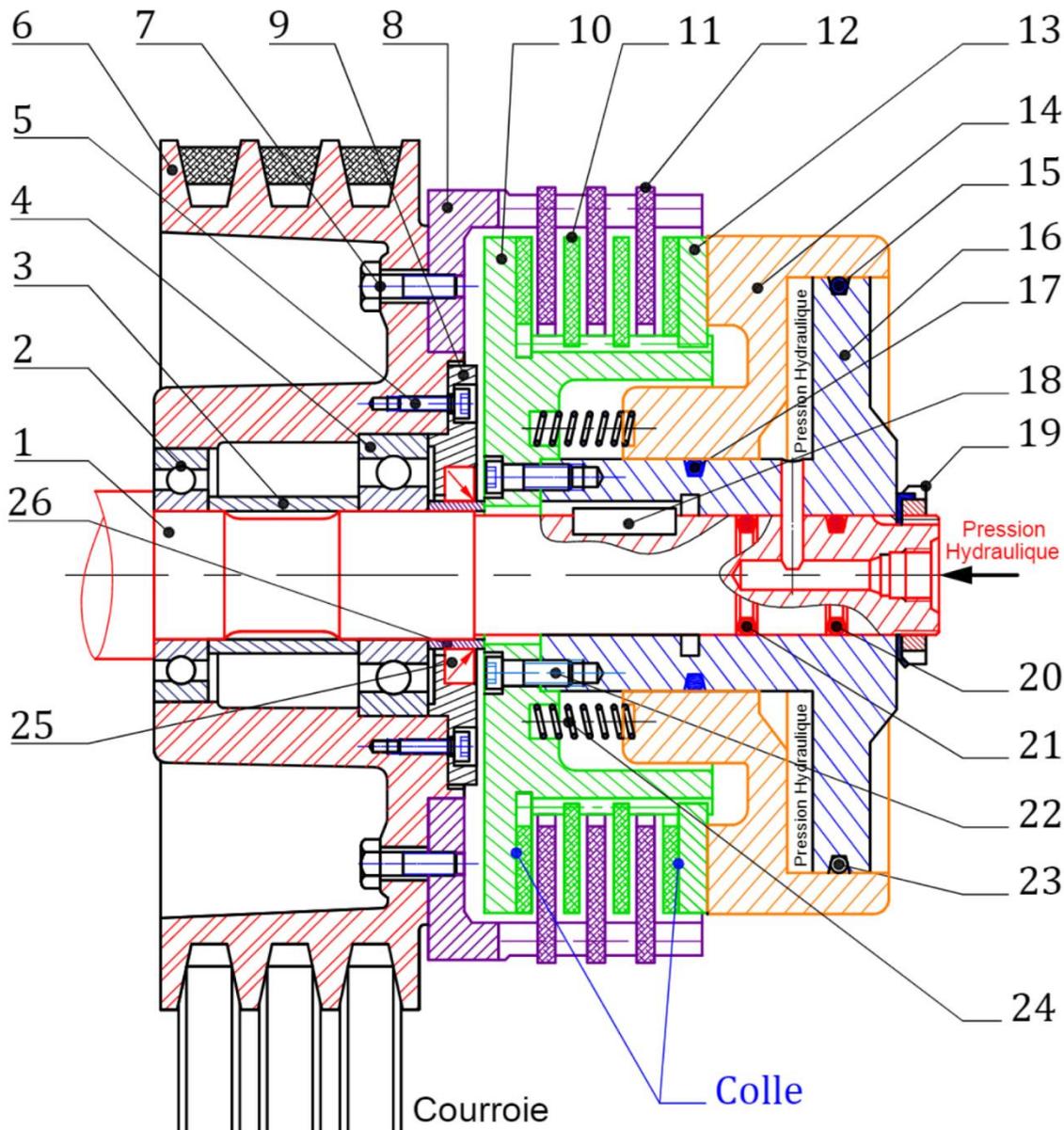
b) Séparer les disques lors du débrayage.

c)  $C = n \cdot f \cdot F \cdot R_{\text{moy}} = n \cdot f \cdot F \cdot \frac{R+r}{2}$  (formule approchée)

$$C = 3 \times 0,5 \times 1500 \times \frac{(120+90) \cdot 10^3}{2} = 236,25 \text{ Nm}$$

#### 14. Transmission par embrayage

On fournit le dessin d'ensemble d'un embrayage destiné à commander la transmission d'une poulie motrice (6) à un arbre (1) :

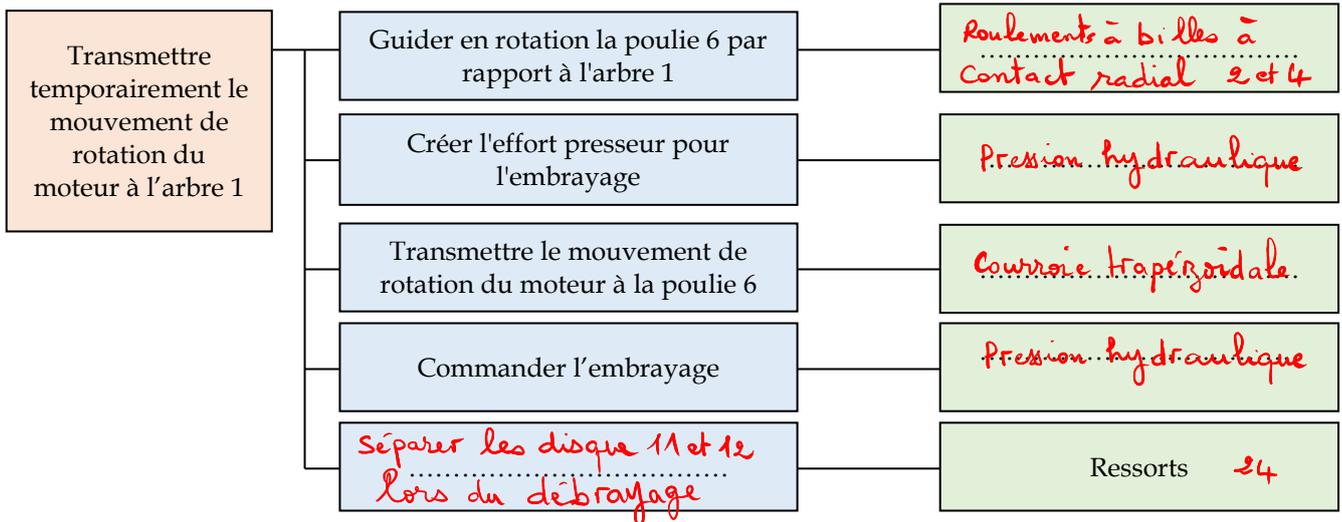


## Caractéristiques de l'embrayage

Effort de la pression hydraulique  
Effort des ressorts  
Rayons des surfaces de friction  
Coefficient de frottement

$F_p = 700 \text{ daN}$   
 $F_r = 100 \text{ daN}$   
 $r = 180 \text{ mm}$  et  $R = 360 \text{ mm}$   
 $f = 0,5$

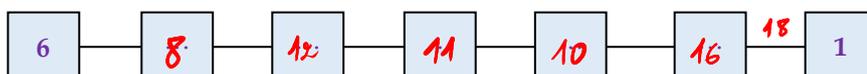
- a. En se référant au dessin d'ensemble, compléter ce diagramme FAST :



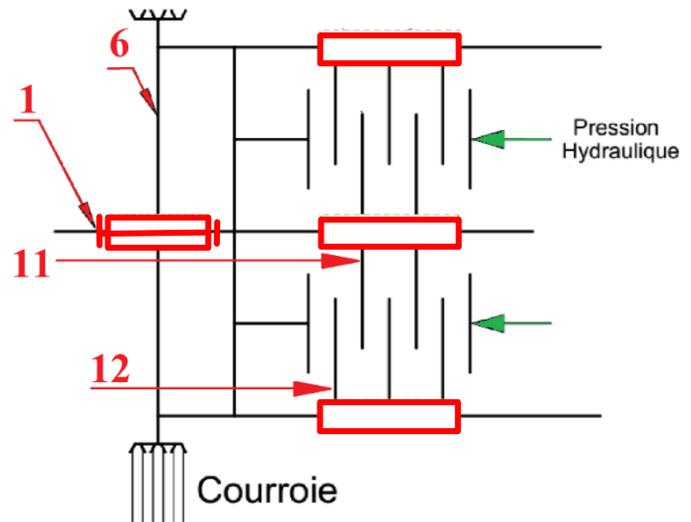
- b. Compléter ce tableau de liaisons.

Pièces	Liaison	Symboles
1/6	... Pivote ...	 
6/9	Emcastrement	
6/8	Emcastrement	
16/1	Emcastrement	
16/10	Emcastrement	
10/11	Glissière	
12/8	Glissière	

- c. Indiquer le repère des pièces participant à la transmission du mouvement entre la poulie 6 et l'arbre 1. (en cas d'embrayage)

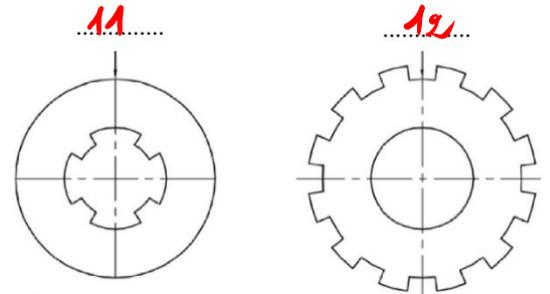


d. Compléter le schéma cinématique



e. L'embrayage est doté de deux types de disque, les disques moteurs sont de repère .....12....., alors que les disques récepteurs sont de repère 11.....

Distinguer, sur cette figure, le disque moteur du disque récepteur.



f. Donner le nom complet de cet embrayage et préciser ses avantages.

Embrayage à friction plane multidisque à commande hydraulique.  
Permet de transmettre un couple important (en comparaison avec le mono-disque).

g. Dans quelle position est représenté l'embrayage (embrayé/débrayé) ?

débrayé

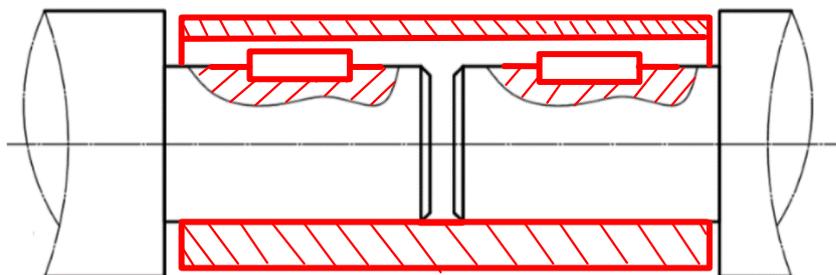
h. Calculer le couple transmissible par cet embrayage.

$$C = n \cdot f \cdot F \cdot R_{\text{moy}} = n \cdot f \cdot (F_p - F_r) \cdot \frac{R + r}{2}$$

$$C = 6 \cdot 0,5 \cdot (700 - 100) \times 10 \times \frac{(360 + 180) \cdot 10^{-3}}{2} = 4.860 \text{ Nm}$$

i. Etude graphique

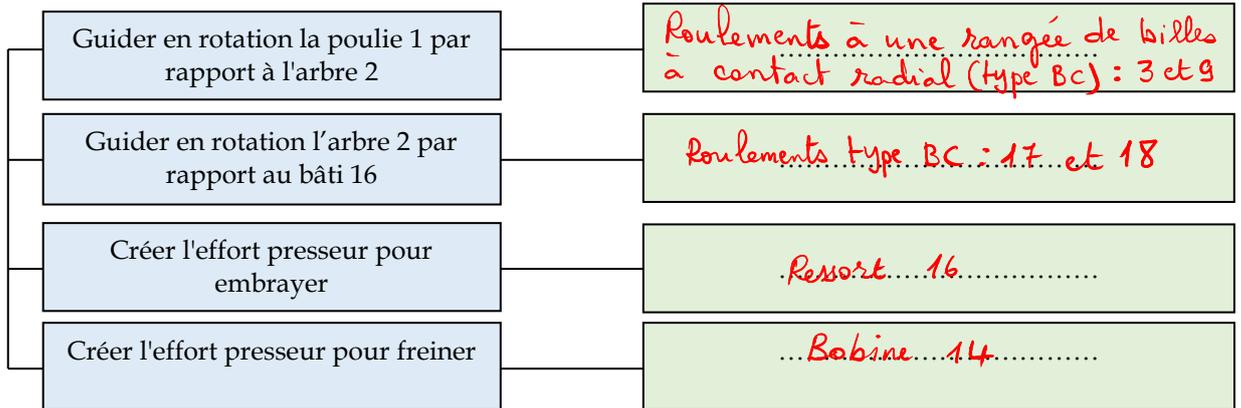
Le bout gauche l'arbre 1 est lié à un autre arbre par un accouplement rigide constitué d'un manchon et des clavettes ; compléter le dessin.



15. Embrayage-frein

Le mécanisme représente un embrayage frein à l'échelle 2 : 5. Il est destiné à accoupler, via un embrayage, une poulie motrice (1) avec un pignon récepteur (19) et à permettre l'arrêt immédiat de ce dernier en cas de débrayage.

a. En se référant au dessin d'ensemble, indiquer les solutions technologiques utilisées :



b. Préciser le type d'embrayage et le type de frein utilisés.

Embrayage à friction plane à commande électromagnétique.  
Frein à disque à commande électromagnétique.

c. Quelle position (embrayé/freiné) est représentée sur le dessin d'ensemble ? freiné

d. Quelle est la fonction des trous T ?

Manœuvres de l'écran 5

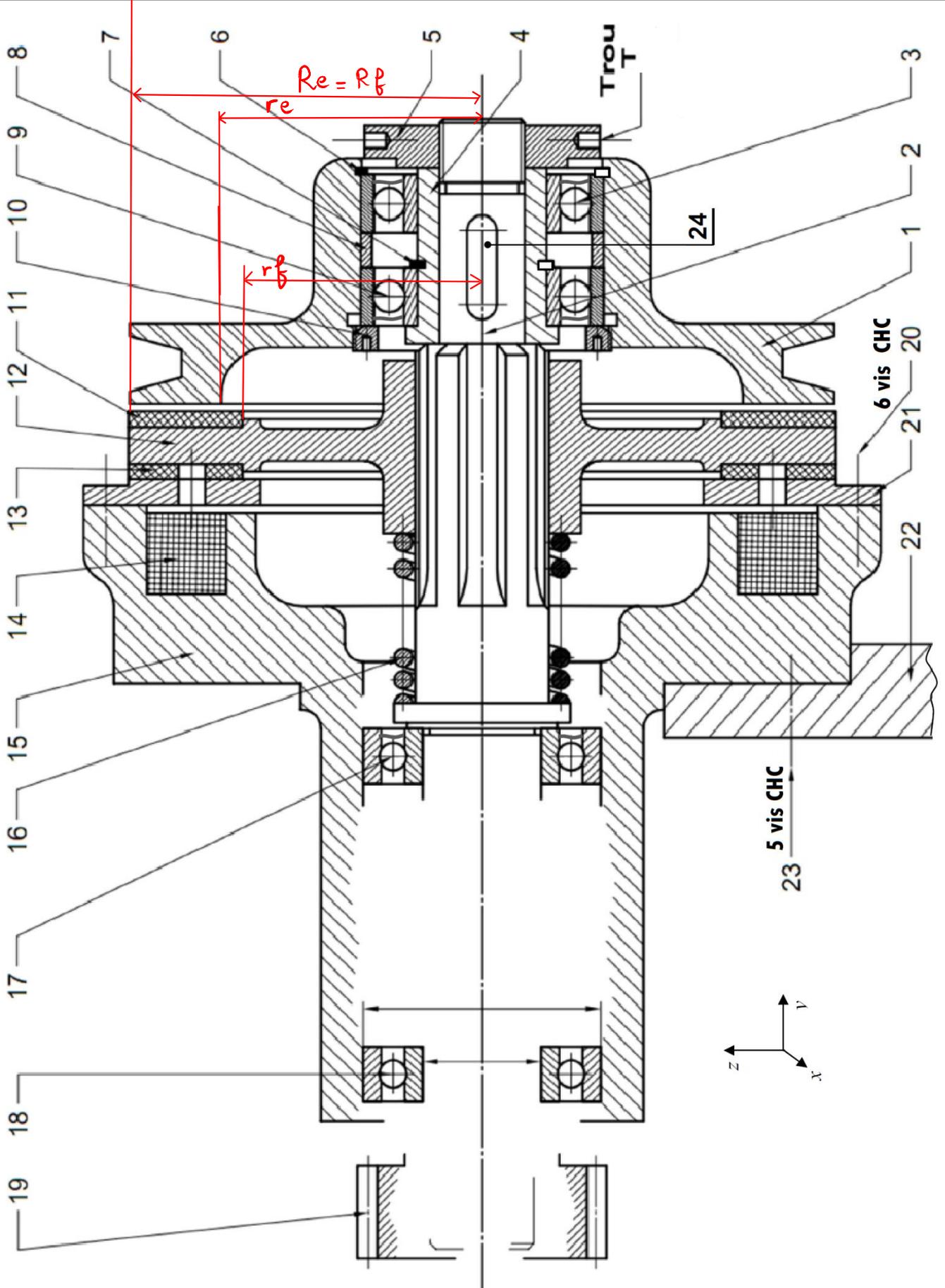
e. Ci-dessus, une description brève du fonctionnement de ce système ; compléter-la à partir de cette liste de mots : embrayage, excitées, freiner, adhérence, ressorts, attiré.

Lorsque les bobines sont alimentées, le disque 12 est attiré vers la gauche, il entre alors en contact avec l'élément fixe 21; ce qui permet de freiner l'arbre 2.  
Lorsque les bobines ne sont pas excitées, le disque 12 est ramené en position d'embrayage grâce aux ressorts, l'arbre 2 peut alors tourner en rotation par adhérence.

f. Entourer d'un cercle les pièces animées d'un mouvement de rotation en cas d'embrayage.

(Bi : bague Intérieure ; Be : bague Extérieure)

1	2	3 Bi	3 Be	4	5	6	7	8	9 Bi	9 Be	10	11	12
13	14	15	16	17 Bi	17 Be	18 Bi	18 Be	19	20	21	22	23	24



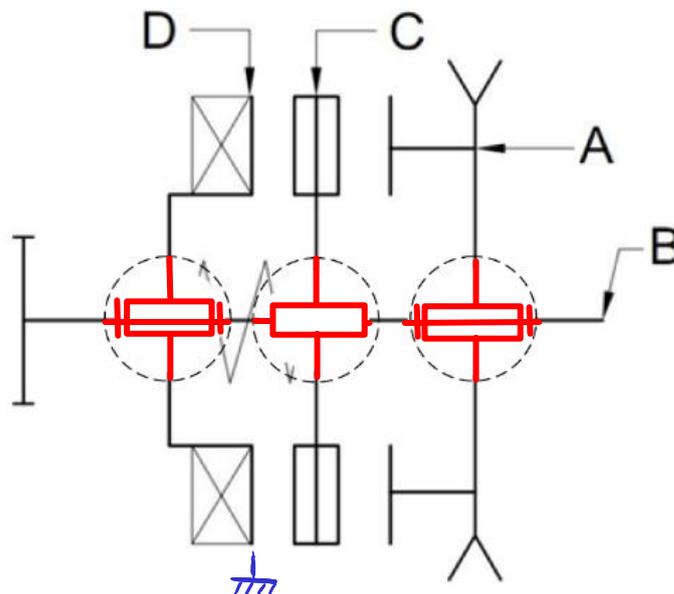
g. Compléter ce tableau.

Pièce	Nom	Fonction
3	..Roulement..	....Guides...en rotation 1/2
6	Ambeau élastique	..Bloquer...la translation de la bague extérieure de 3
7	....."....."	....."....." " intérieure de 9
8	..Entretoise..	....."....." des bagues ext. de 3 et 9
11	..Granulature	..Augmenter le coef. de frottement d'embrayage
13	....."....."	....."....." " de freinage
16	...ressort...	..Créer...l'effort presseur d'embrayage (si la bobine n'est plus alimentée)
24	...clavette...	..Éliminer...la rotation de 4/2

h. Compléter ce tableau de liaisons.

Liaison	Nom de la liaison	Libertés						Degrés de liberté
		Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz	
4/2	Encastrement	..0..	..0..	..0..	..0..	..0..	..0..	....0.....
1/2	Pivot	..0..	..0..	..0..	..0..	..1..	..0..	....1.....
12/2	..Glissière..	..0..	..1..	..0..	..0..	..0..	..0..	....1.....
15/2	...Pivot.....	..0..	..0..	..0..	..0..	..1..	..0..	....1.....
19/2	Encastrement	..0..	..0..	..0..	..0..	..0..	..0..	....0.....

i. Compléter le schéma cinématique du mécanisme.



- j. Trouver la composition des classes d'équivalence .

$$A = \{1, 6, 8, 10\}$$

$$B = \{2, 4, 5, 7, 19, 24\}$$

$$C = \{11, 12, 13\}$$

$$D = \{14, 15, 20, 21, 22, 23\}$$

(sans tenir compte des pièces déformables :  
ressorts, roulements, joints ...)

Données :

Effort d'attraction de l'électroaimant

$$F_a = 700 \text{ daN}$$

Effort presseur du ressort

$$F_p = 500 \text{ daN}$$

Coefficient de frottement

$$f = 0,5$$

Rayons de la surface de friction d'embrayage

$$R_e = 176,25 \text{ et } r_e = 130$$

Rayons de la surface de friction freinage

$$R_f = 176,25 \text{ et } r_f = 119,75$$

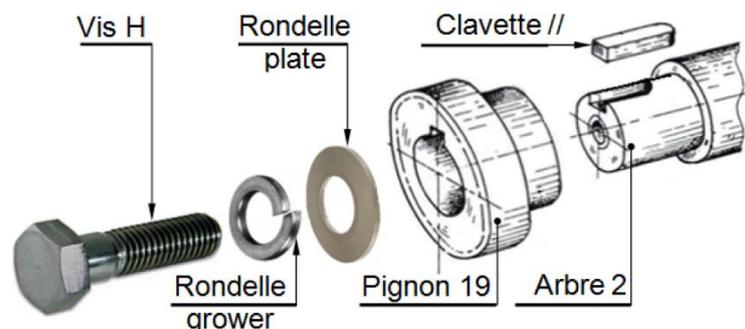
- k. Indiquer, sur le dessin d'ensemble, les rayons  $R_e$  et  $r_e$  de la surface de friction d'embrayage ainsi que les rayons  $R_f$  et  $r_f$  de la surface de friction de freinage.
- l. Calculer le couple transmissible par l'embrayage ainsi que le couple de freinage.

$$i.) * C_e = n \cdot f \cdot F \cdot R_{moy} = n \cdot f \cdot F_p \cdot \frac{R_e + r_e}{2} = 1 \times 0,5 \times 5000 \times \frac{0,17625 + 0,13}{2} = 382,8 \text{ Nm}$$

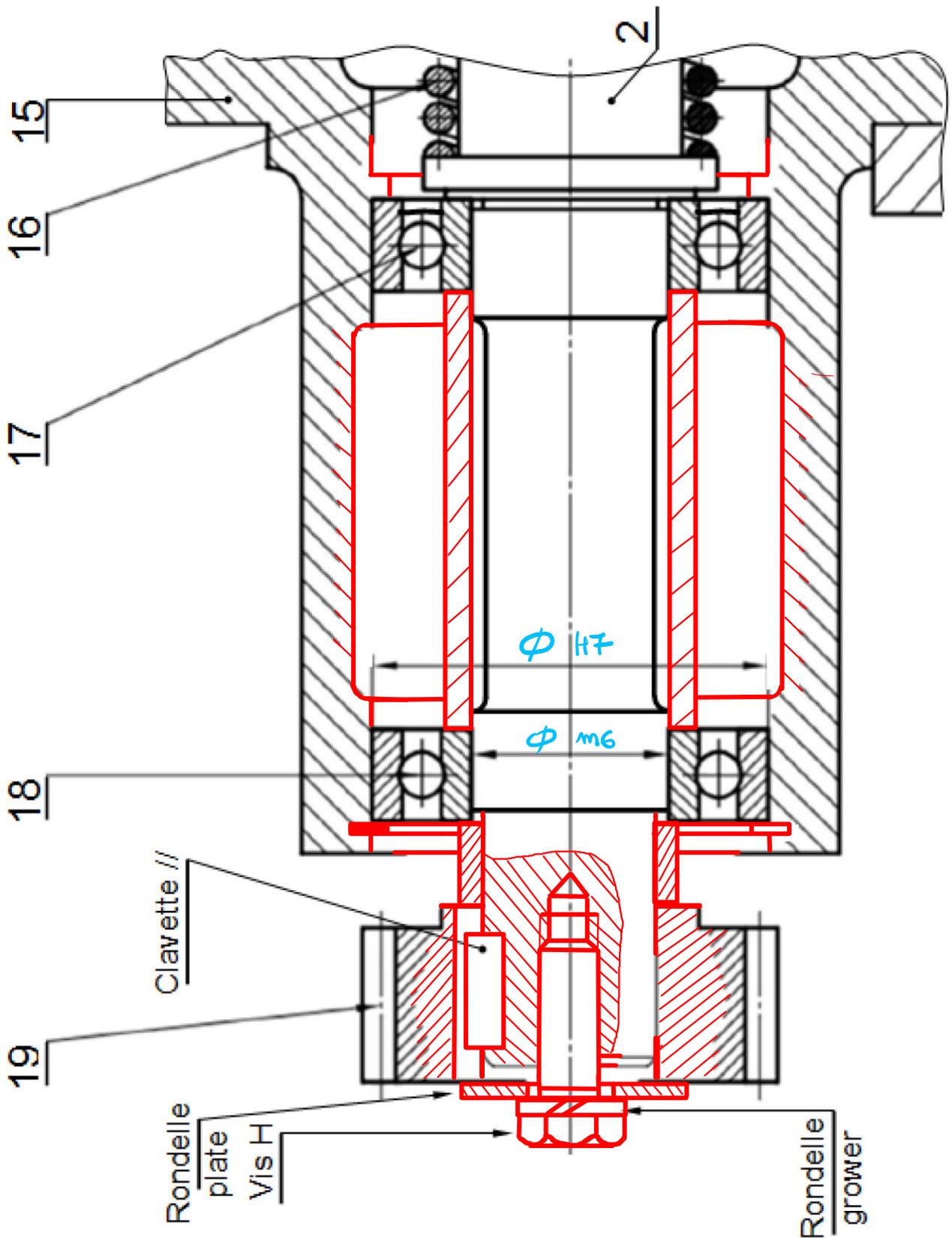
$$* C_f = n \cdot f \cdot F \cdot R_{moy} = n \cdot f \cdot (F_a - F_p) \cdot \frac{R_f + r_f}{2} = 1 \times 0,5 \times (7000 - 5000) \times \frac{0,17625 - 0,11975}{2} = 148 \text{ Nm}$$

- m. Travail graphique

- Compléter le montage des roulements 17 et 18 en assurant les arrêts en translation de leurs bagues par rapport à l'arbre 2 et au corps 15 :
  - Pour les bagues intérieures : entretoise entre  $Bi17$  et  $Bi18$  ; entretoise à gauche de  $Bi18$ .
  - Pour les bagues extérieures : épaulement de 15 à droite de  $Be17$  ; Circlips d'alésage à gauche de  $Be18$ .
- Réaliser la liaison complète du pignon 19 avec l'arbre 2 : vis H + rondelle Grower + rondelle plate à gauche du pignon 19 ; entretoise à droite du pignon 19 ; clavette parallèle entre l'arbre 2 et le pignon 19



- Indiquer les ajustements sur les portées de roulement 18.

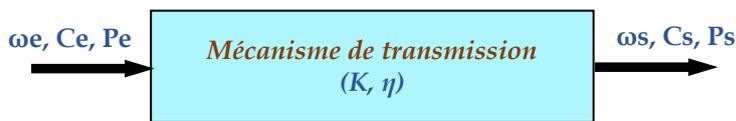


## Transmission sans transformation de mouvement et avec modification de vitesse

Plusieurs solutions constructives sont envisagées pour réaliser la transmission de puissance avec la possibilité de modifier la vitesse angulaire :

- Roues de friction** : transmission par adhérence entre arbres rapprochés.
- Poulies et courroie** : transmission par adhérence entre arbres éloignés.
- Pignons et chaîne** : transmission par obstacle entre arbres éloignés.
- Engrenages** : transmission par obstacle entre arbres rapprochés.

### Caractéristiques d'une transmission

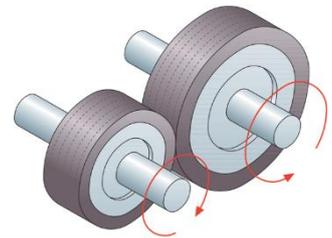
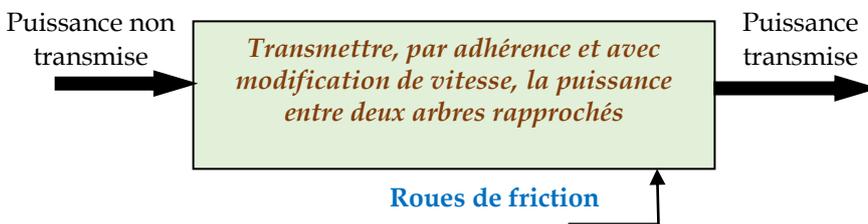


$$\text{Rapport de transmission : } K = \frac{\omega_s}{\omega_e}$$

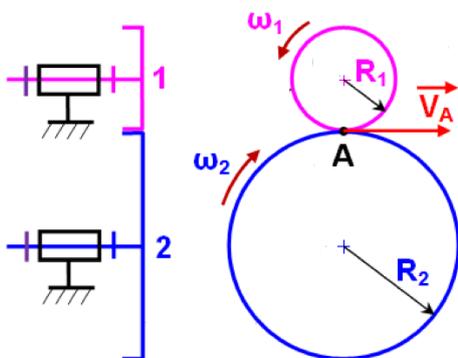
$$\text{Rendement : } \eta = \frac{P_s}{P_e}$$

## Roues de friction

Un système de roues de friction est composé de deux ou plusieurs roues dont le mouvement de rotation est transmis par adhérence.



### Caractéristiques

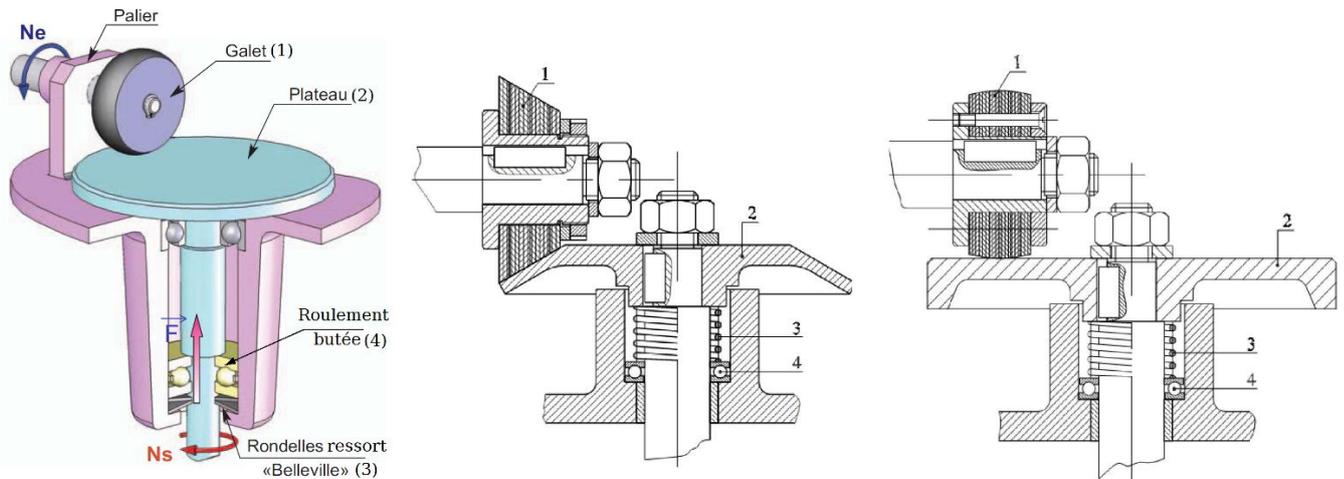


$$\text{Rapport de transmission : } K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{R_e}{R_s}$$

$N_e$  : vitesse de la roue d'entrée (menée)  
 $N_s$  : vitesse de la roue de sortie (menante)

- Le sens de rotation est inversé d'une roue à l'autre.
- Ce système est réversible.

### Exemples de réalisations



Le ressort 3 permet de fournir l'effort presseur

### Avantages

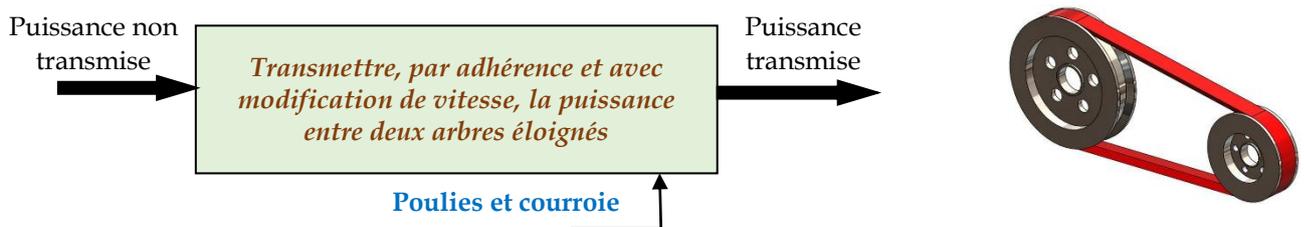
- Système relativement silencieux.
- Réalisation simple et économique.

### Inconvénients

- Les roues ont tendance à glisser les unes sur les autres.
- La force pressante engendre des charges supplémentaires sur les paliers (usure).
- Utilisation limitée aux transmissions de faible puissance.

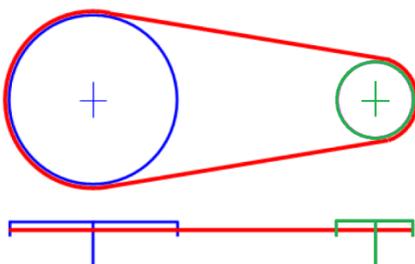
### Poules et courroie

Un système de poulies et courroie est composé d'une poulie qui, en rotation, transmet ce mouvement à une seconde poulie par l'intermédiaire d'une courroie.



Note : pour un système à poulie crantée, la transmission se fait par obstacle.

### Caractéristiques



$$\text{Rapport de transmission : } K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{R_e}{R_s}$$

Ce système est réversible

**Avantages**

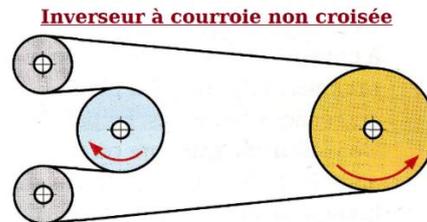
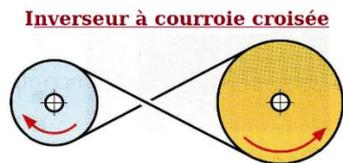
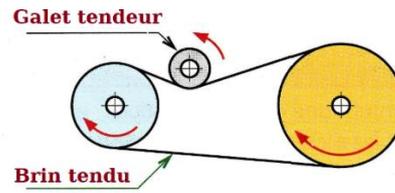
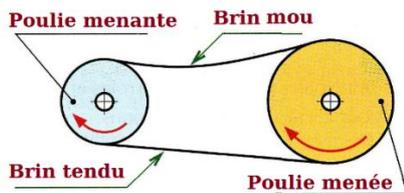
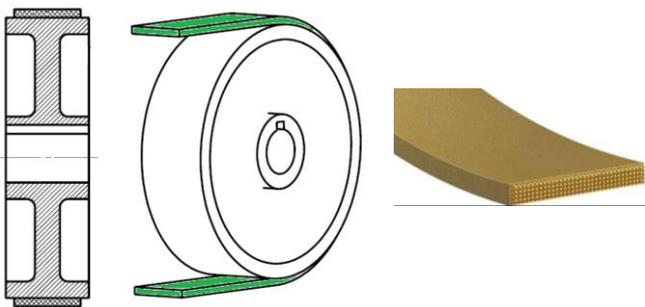
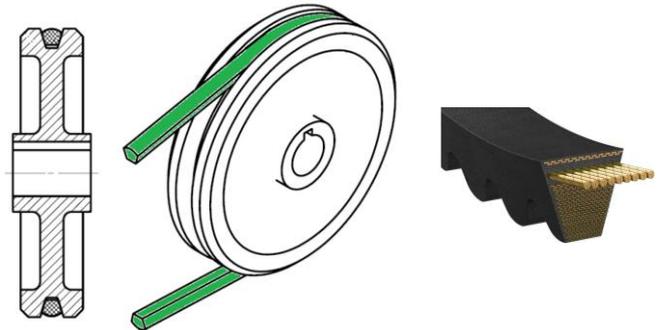
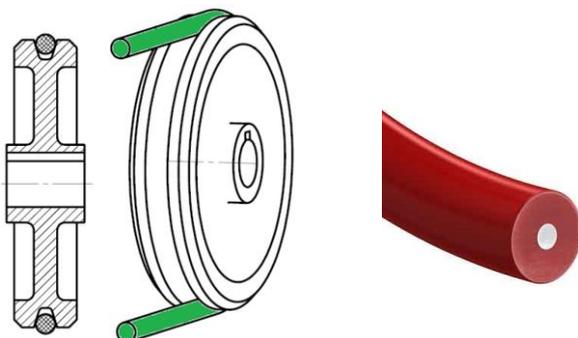
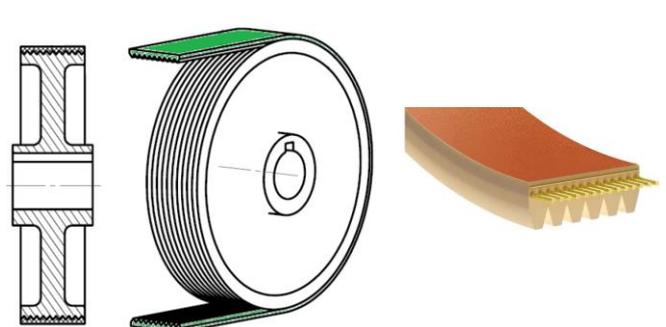
- Transmission relativement silencieuse.
- Tolère de grandes vitesses.
- L'élasticité de la courroie permet d'éviter les à-coups.

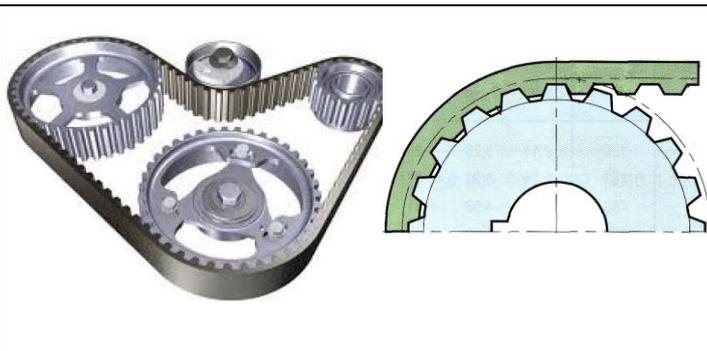
**Inconvénients**

- La courroie a tendance à glisser sur les poulies.
- Le système nécessite une surveillance régulière afin d'éviter un bris éventuel de la courroie. En effet, la courroie subit une usure normale très envisagée.
- Couple transmissible faible.

**Configurations de montage**

Le rôle du galet tendeur, s'il existe, est de garantir une tension suffisante de la courroie et de réduire les vibrations.

**Types de courroies****Courroie plate****Courroie trapézoïdale****Courroie ronde****Courroie striée (poly V)**

Courroie crantée

La transmission se fait par obstacle

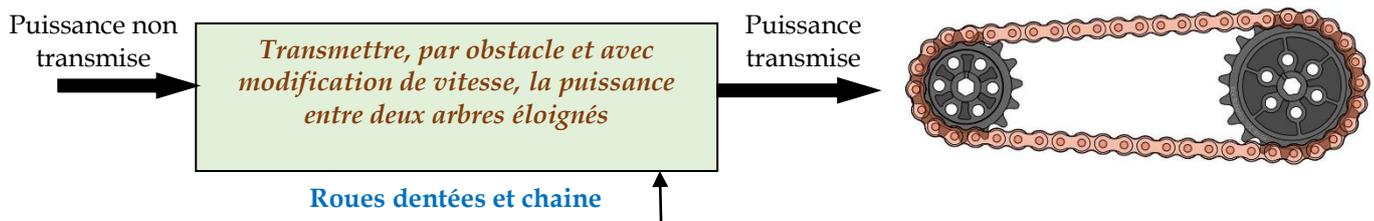
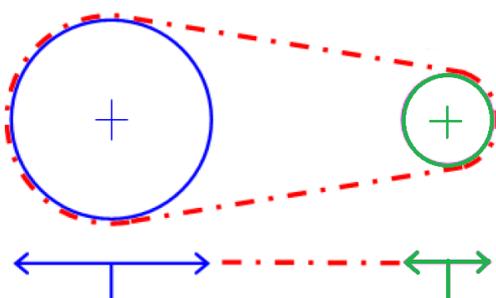
$$\text{Rapport de transmission : } K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s}$$

$Z_e$  et  $Z_s$  : nombres de dents respectifs des poulies menante et menée

Roues dentées et chaîne

Un système de roues dentées et chaîne permet la transmission d'un mouvement de rotation entre deux roues dentées (pignons) par l'intermédiaire d'une chaîne.

L'entraînement se fait grâce aux maillons de la chaîne qui s'emboîtent dans les dents des roues.

Caractéristiques

$$\text{Rapport de transmission : } K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s}$$

Ce système est réversible

Avantages

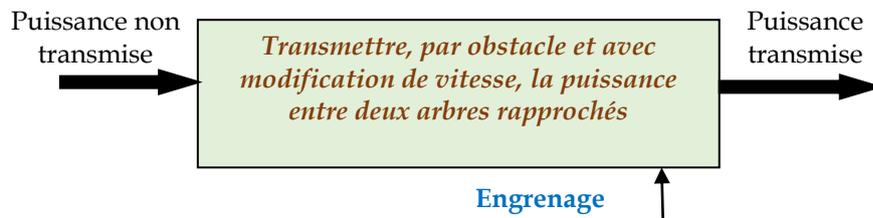
- La chaîne s'emboîte sur les dents des roues et empêche tout glissement.
- Ce type de système permet d'appliquer de grandes forces sur la roue motrice.

Inconvénients

- Ce système est source de bruit et de vibrations.
- Exige une lubrification constante.
- La vitesse de rotation a une certaine limite car, au-delà, la chaîne a tendance à dérailler.
- Le coût d'installation est généralement élevé.

## Engrenages

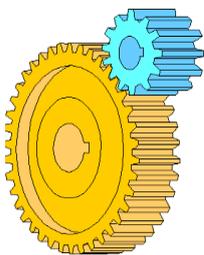
Un engrenage est composé de deux roues dentées. Les dents des roues viennent successivement en contact les unes avec les autres ; on dit alors qu'elles s'engrènent.



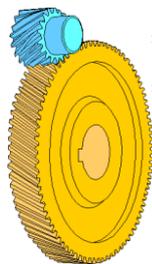
Selon la position des roues et leurs dentures, on distingue :

- Engrenage cylindrique à denture droite** ⇒ engrenage à axes parallèles
- Engrenage cylindrique à denture hélicoïdale** ⇒ engrenage à axes parallèles
- Engrenage conique à denture droite** ⇒ engrenage à axes concourants
- Engrenage à roue et vis sans fin** ⇒ engrenage gauche (axes situés dans des plans différents)

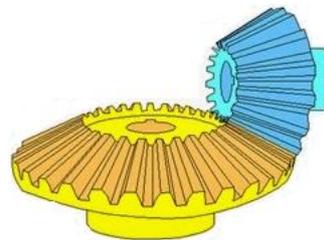
Engrenage cylindrique à denture droite



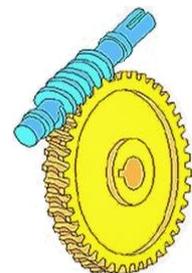
Engrenage cylindrique à denture hélicoïdale



Engrenage conique à denture droite



Engrenage à roue et vis sans fin

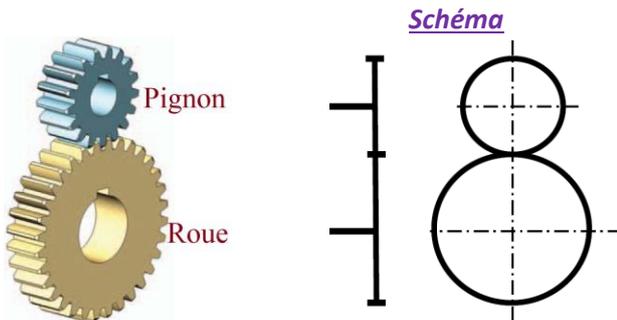


**Engrenage cylindrique à denture droite**

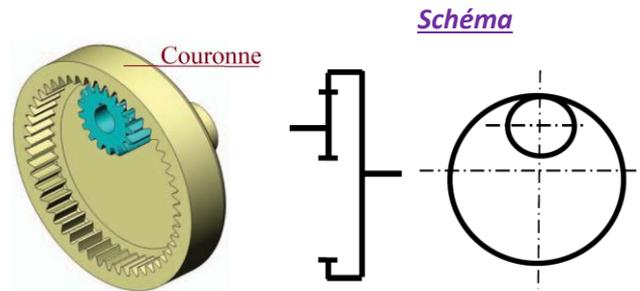
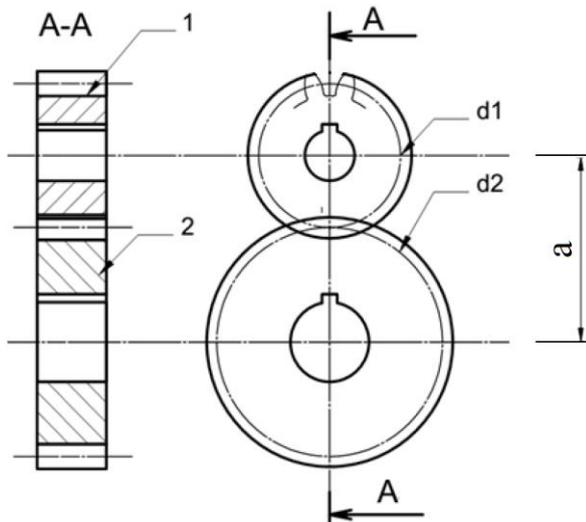
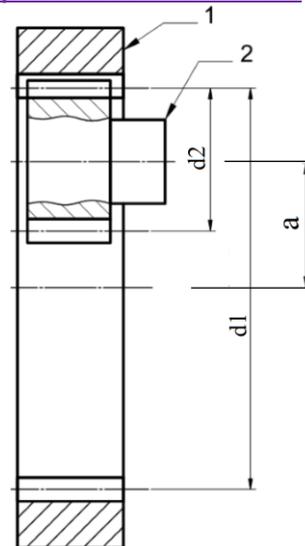
La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation. C'est le type de denture le plus courant.

**Denture extérieure**

La petite roue est appelée **pignon**.  
Les deux roues tournent en sens inverse.

**Denture intérieure**

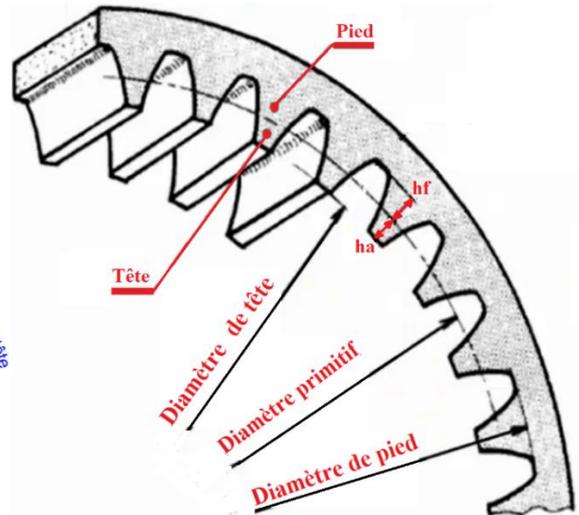
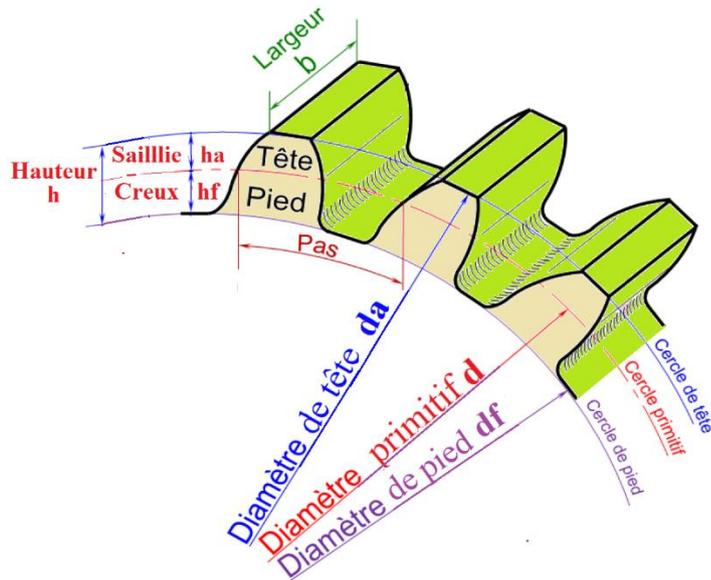
La roue à denture intérieure est appelée **couronne**.  
Les deux roues tournent dans le même sens.

**Représentation normalisée****Représentation normalisée****Caractéristiques**

Rapport de transmission :  $K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{d_e}{d_s} = \frac{Z_e}{Z_s}$

(d1 et d2 sont les diamètres primitifs des roues)

	Engrenage extérieur	Engrenage intérieur
<b>Entraxe</b>	$a = \frac{d1 + d2}{2} = \frac{m(Z1 + Z2)}{2}$	$a = \frac{d1 - d2}{2} = \frac{m(Z1 - Z2)}{2}$
<b>Caractéristiques de la roue</b>		
Module	<b>m</b>	<b>m</b>
Nombre de dents	<b>Z</b>	<b>Z</b>
Pas	<b>p = π.m</b>	<b>p = π.m</b>
Saillie	<b>ha = m</b>	<b>ha = m</b>
Creux	<b>hf = 1,25.m</b>	<b>hf = 1,25.m</b>
Hauteur de la dent	<b>h = 2,25.m</b>	<b>h = 2,25.m</b>
Diamètre primitif	<b>d = m.Z</b>	<b>d = m.Z</b>
Diamètre de tête	<b>da = d + 2.m</b>	<b>da = d - 2.m</b>
Diamètre de pied	<b>df = d - 2,5.m</b>	<b>df = d + 2,5.m</b>



### Engrenage cylindrique à denture hélicoïdale

La génératrice de forme des dents est une ligne hélicoïdale de même axe que l'axe de rotation.

Ce type de denture est plus performant que celui à denture droite : la transmission est progressive, continue et silencieuse.

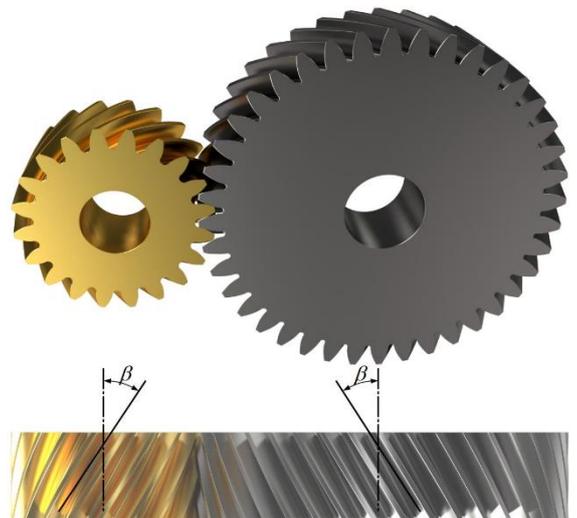
Toutefois, l'inclinaison de l'hélice engendre des efforts axiaux qui doivent être supportés par des paliers.

#### Condition d'engrènement :

- Même module m
- Même angle d'hélice  $\beta$
- Hélices de sens opposés

Rapport de transmission 
$$K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{d_e}{d_s} = \frac{Z_e}{Z_s}$$

( $d_1$  et  $d_2$  sont les diamètres primitifs des roues)



### Engrenage conique à denture droite (renvoi d'angle)

Les roues sont coniques et assurent la transmission entre deux arbres concourants.  
Les engrenages droits à denture conique permettent un renvoi d'angle à 90°.

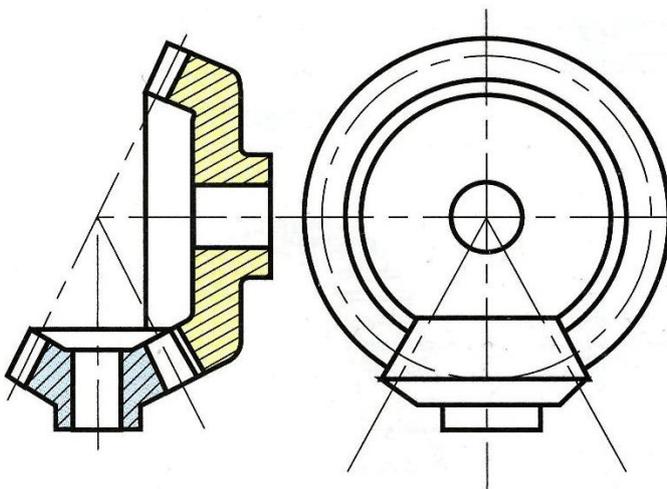


#### Condition d'engrènement :

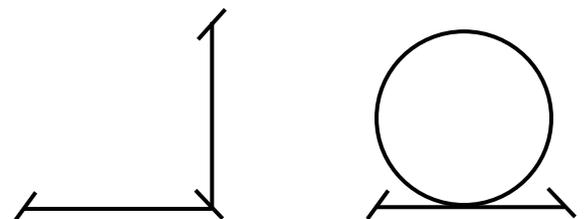
- Même module
- Sommets des deux cônes confondus

Rapport de transmission  $K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{d_e}{d_s} = \frac{Z_e}{Z_s}$

#### Représentation normalisée



#### Schéma



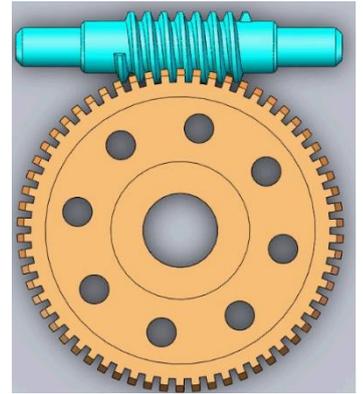
### Engrenage gauche (roue et vis sans fin)

La transmission est réalisée à l'aide d'une vis à un ou plusieurs filets associée à une roue à denture hélicoïdale. Cet engrenage est dit gauche car les axes ne sont pas dans le même plan.

Hormis quelques rares exceptions, la vis entraîne la roue. Le mécanisme est donc irréversible ce qui peut présenter un avantage pour la sécurité de certains systèmes.

Avantage : Permet d'obtenir un grand rapport de réduction avec un encombrement réduit.

Inconvénient : faible rendement.



### Condition d'engrènement :

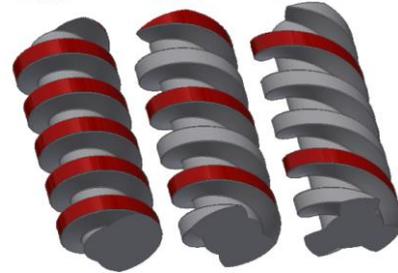
- Même module axial
- Même angle d'hélice

Rapport de transmission  $K = \frac{N_s}{N_e} = \frac{Z_e}{Z_s}$

$Z_e$  : nombre de filets de la vis.

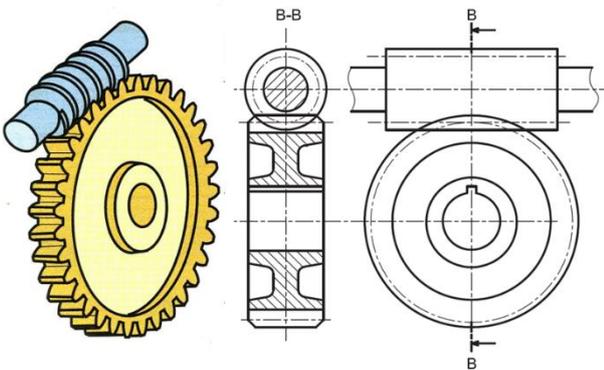
$Z_s$  : nombre de dents de la roue

Vis à 1 filet      Vis à 2 filets      Vis à 3 filets

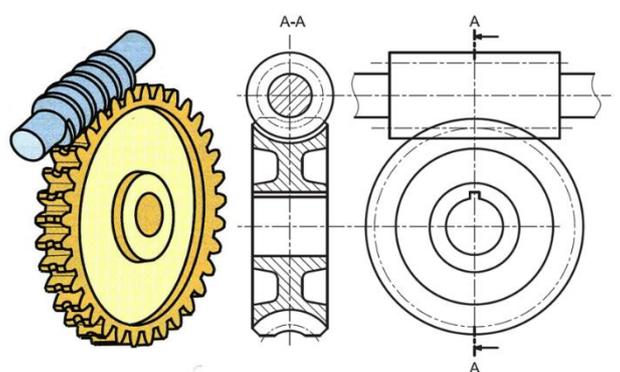


### Représentation

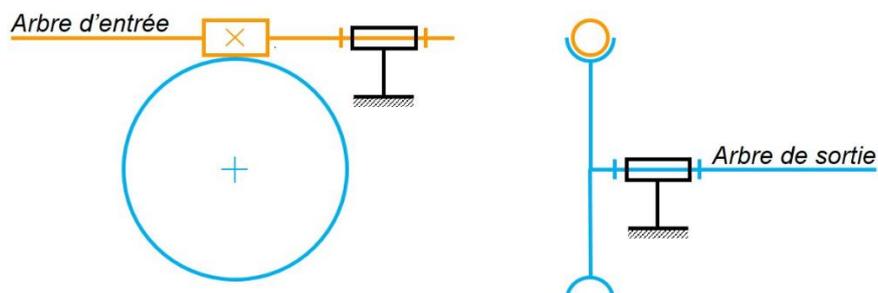
**Vis sans fin avec roue cylindrique**



**Vis sans fin avec roue creuse**

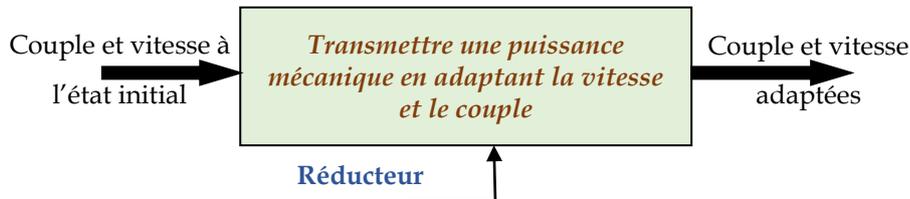


### Schéma



## Train d'engrenages simple

Pour augmenter le rapport de réduction dans un réducteur, on peut associer plusieurs engrenages en série : on parle de train d'engrenages.

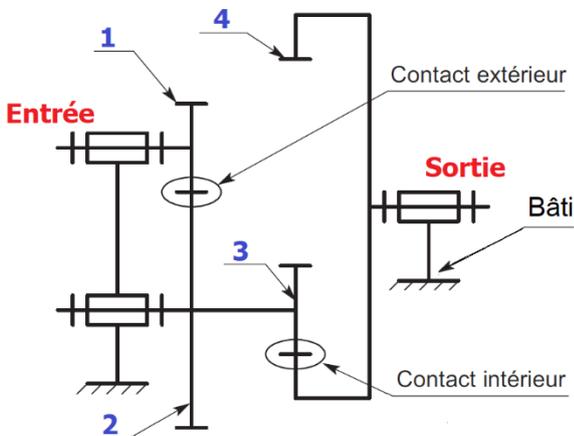


Un train d'engrenage est dit simple quand les axes des différentes roues occupent une position fixe par rapport au bâti.

**Rapport de réduction**  $r = \frac{N_s}{N_e} = (-1)^n \cdot \frac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$

$n$  : nombre de contacts extérieurs (entre les roues)

### Exemples

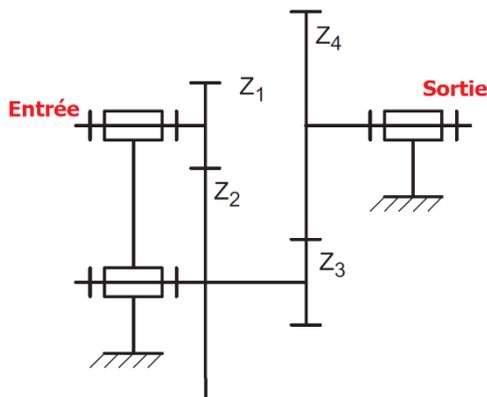


(1) et (3) sont des roues menantes (motrices)

(2) et (4) sont des roues menées (réceptrices)

$$r = (-1)^1 \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = -\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

Les axes d'entrées et de sortie tournent en sens inverses.



$$r = (-1)^2 \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$$

Les axes d'entrées et de sortie tournent dans le même sens.

## Train épicycloïdal

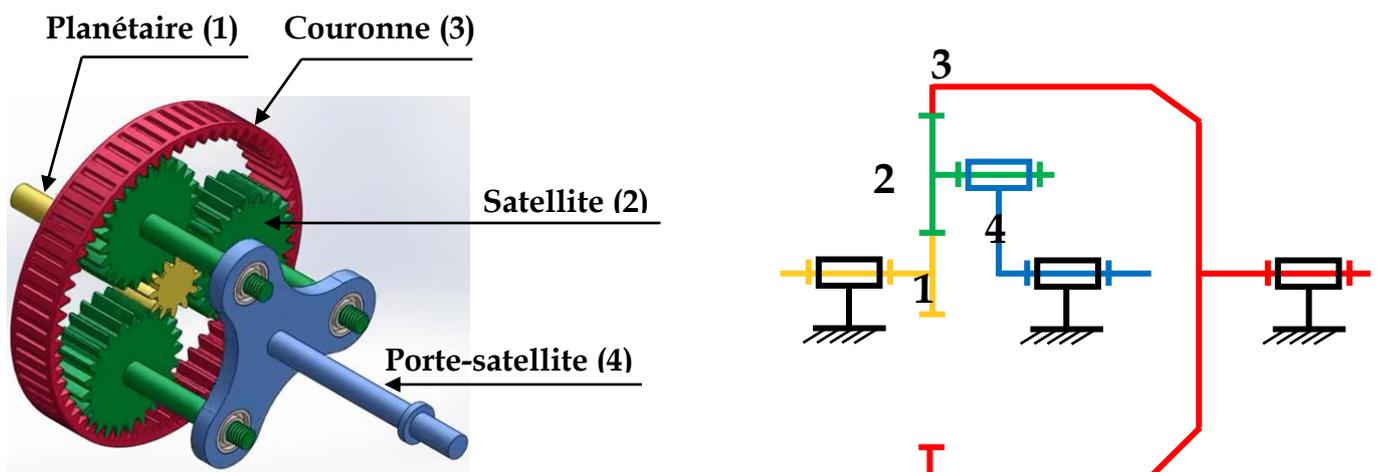
Un train d'engrenages est qualifié d'épicycloïdal quand, pendant le fonctionnement, une ou plusieurs roues dentées (appelées satellites) tournent autour d'axes qui ne sont pas fixes par rapport au bâti.

**Avantages :** Les trains épicycloïdaux autorisent de grands rapports de réduction sous un faible encombrement  
Les axes d'entrées et de sortie sont coaxiaux.

Un train épicycloïdal est constitué :

- d'un pignon central appelé **planétaire** (ou planétaire intérieur) ;
- d'une roue à denture intérieure dite **couronne** (ou planétaire extérieur) ;
- d'un ou plusieurs pignons appelés **satellites** qui engrènent avec le planétaire et la couronne ;
- d'un **porte-satellite** qui ne comporte pas de dents et supporte les satellites.

**Remarque :** on utilise 1, 2, 3 ou 4 satellites. Utiliser plus qu'un satellite permet de répartir les efforts sans affecter le rapport de réduction du train.



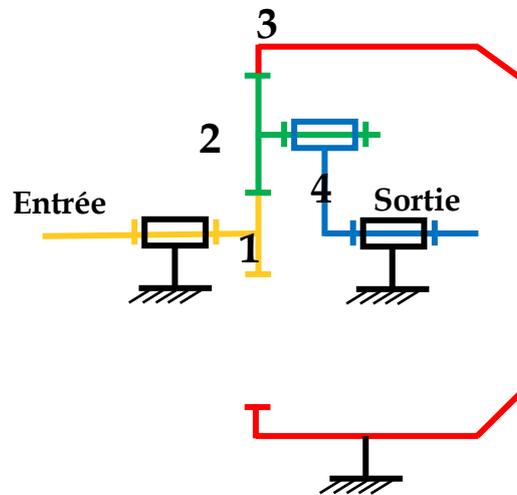
### Formule de Willis

Pour déterminer le rapport  $r$  du train en fonction du nombre de dents des roues, il faut passer par la raison basique  $r_b$  définie par la formule de Willis :

$$r_b = \frac{\omega_c - \omega_{ps}}{\omega_p - \omega_{ps}} = (-1)^n \cdot \frac{\text{Produit des Z des roues menantes}}{\text{Produit des Z des roues menées}}$$

où :  $\omega_c$  : fréquence de rotation de la couronne  
 $\omega_{ps}$  : vitesses du porte-satellites

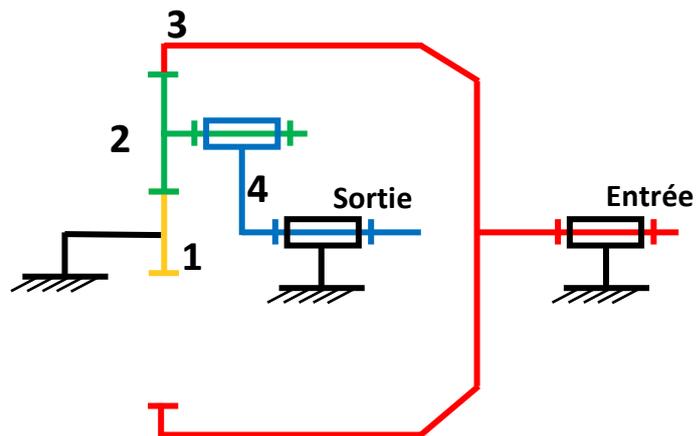
$\omega_p$  : fréquence de rotation du planétaire  
 $n$  : nombre de contacts extérieurs

Cas où la couronne est fixe ( $\omega_c = 0$ )

$$\text{Formule de Willis : } \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4} = (-1)^1 \cdot \frac{Z_1 Z_2}{Z_2 Z_3} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

$$\text{Ce qui donne } \frac{0 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

$$\text{On trouve le rapport de réduction } r = \frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}$$

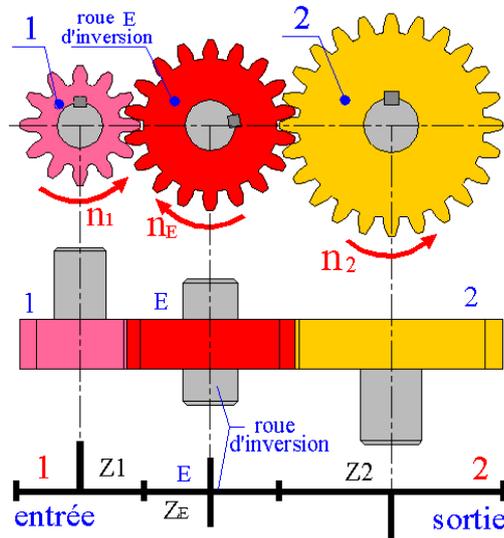
Cas où le planétaire est fixe ( $\omega_p = 0$ )

$$\text{Formule de Willis : } \frac{\omega_3 - \omega_4}{0 - \omega_4} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

$$\text{On trouve le rapport de réduction } r = \frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{Z_3}{Z_1 + Z_3}$$

## Exercices

1. Donner l'expression du rapport de réduction  $r = n_2/n_1$ . Quel est le rôle de la roue E ?

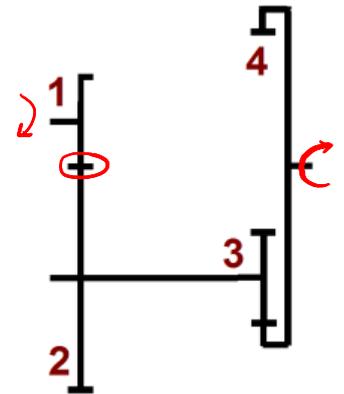


$$r = \frac{\prod (Z_{\text{menantes}})}{\prod (Z_{\text{menées}})} = \frac{Z_1 \times Z_E}{Z_E \times Z_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

La roue E est une roue d'inversion qui permet, ici, à la roue 2 d'avoir le même sens que la roue 1.

2. Données :  $Z_1 = 16$  ;  $Z_2 = 34$  ;  $Z_3 = 18$  ;  $Z_4 = 122$  ;  $N_1 = 1200$  tr/min.

- a. Le pignon 1 étant menant, calculer le rapport de réduction  $k$   
b. En déduire  $N_4$  puis  $\omega_4$



$$a) k = \frac{\prod (Z_{\text{menantes}})}{\prod (Z_{\text{menées}})} = \frac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_4} = \frac{16 \times 18}{34 \times 122} = 0,07$$

(le nombre de contacts extérieurs  $n=1$  : l'arbre de sortie tourne en sens inverse que celui d'entrée)

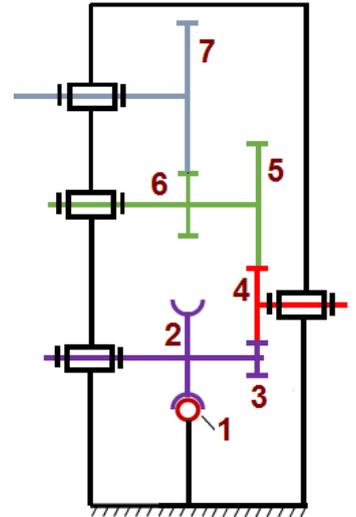
$$b) k = \frac{N_4}{N_1} \Rightarrow N_4 = k \cdot N_1 = 0,07 \times 1200 = 84 \text{ tr/min}$$

$$\omega_4 = \frac{2\pi}{60} N_4 = \frac{\pi}{30} \times 84 = 8,79 \text{ rad/s}$$

3. Un moteur électrique entraîne une vis sans fin 1 avec une vitesse de rotation  $N_1 = 2400$  tr/min. Son mouvement est transmis à l'arbre de sortie de la roue dentée 7

Données :  $Z_1 = 4$  filets ;  $Z_2 = 80$  dents ;  $Z_3 = 20$  dents.  
 $Z_5 = 60$  dents ;  $Z_6 = 40$  dents ;  $Z_7 = 80$  dents.

- Calculer le rapport de transmission global  $r$ .
- Calculer la vitesse de rotation de l'arbre de sortie  $N_7$ . En déduire la vitesse angulaire  $\omega_7$ .



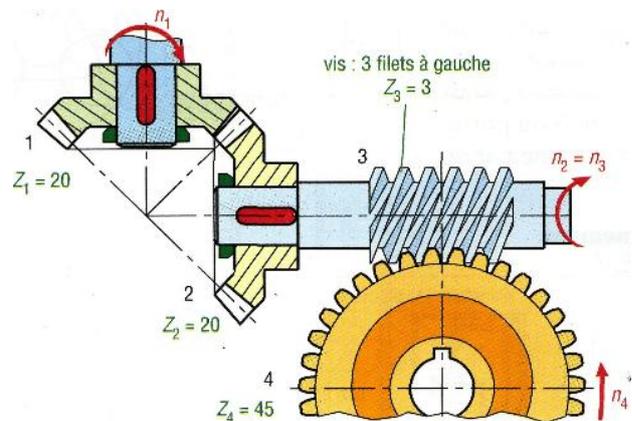
$$a) r = \frac{\prod (Z_{\text{menantes}})}{\prod (Z_{\text{menées}})} = \frac{Z_1 \times Z_3 \times Z_4 \times Z_6}{Z_2 \times Z_4 \times Z_5 \times Z_7} = \frac{Z_1 \cdot Z_3 \cdot Z_6}{Z_2 \cdot Z_5 \cdot Z_7} = \frac{4 \times 20 \times 40}{80 \times 60 \times 80} = \frac{1}{120}$$

$$b) r = \frac{N_7}{N_1} \Rightarrow N_7 = r \cdot N_1 = \frac{2400}{120} = 20 \text{ tr/min}$$

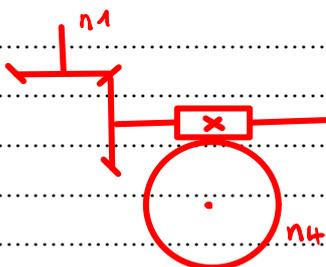
$$\omega_7 = \frac{\pi}{30} \cdot N_7 = \frac{\pi}{30} \times 20 = 2,09 \text{ rad/s}$$

4. Le réducteur se compose d'un renvoi d'angle de  $\pi/2$  ( $Z_1 = 20$  et  $Z_2 = 20$ ) et d'un système à roue et vis sans fin ( $Z_3 = 3$  et  $Z_4 = 45$ ).

- Donner le schéma cinématique de ce réducteur.
- Déterminer la valeur de  $n_4$  sachant que  $n_1 = 1500$  tr/min.



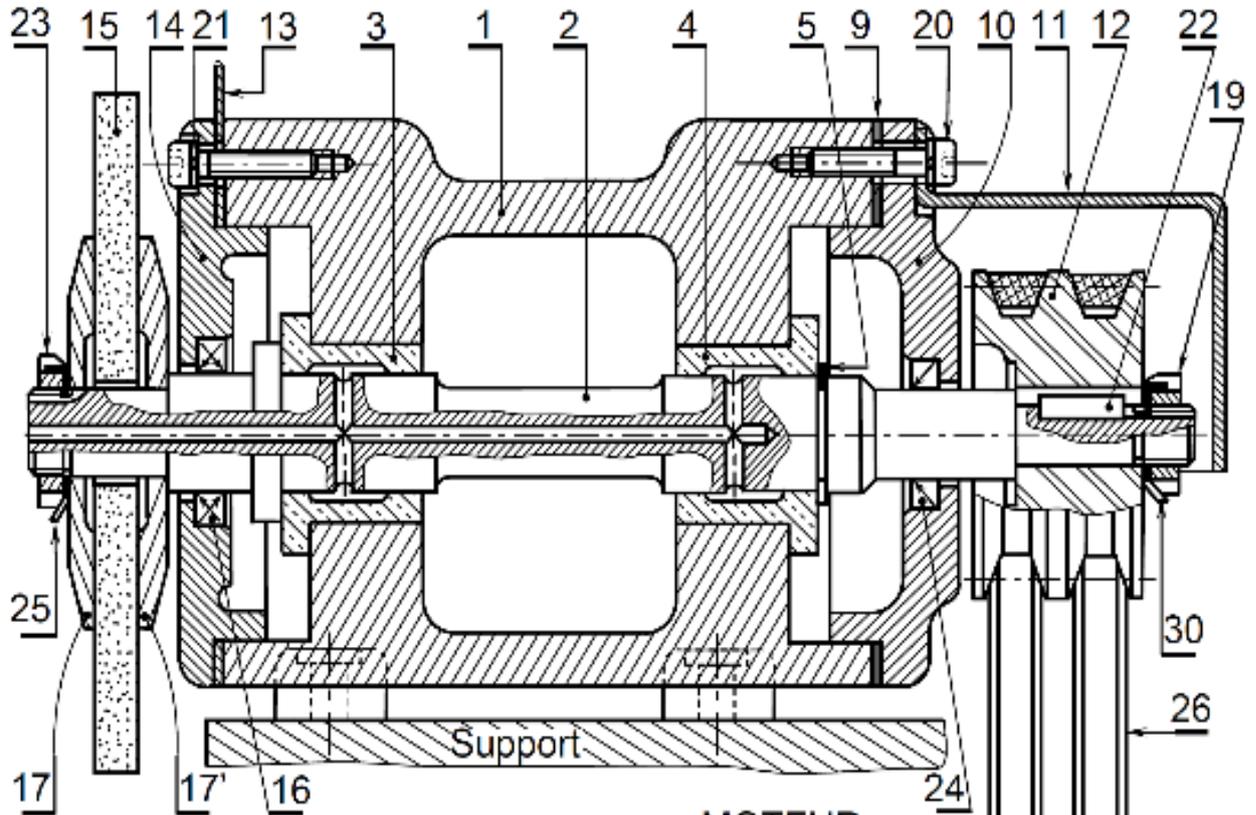
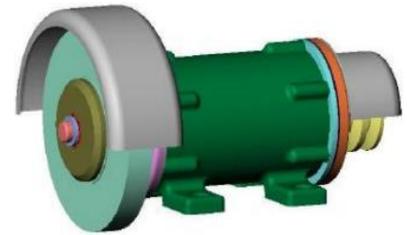
a) (Arbre d'entrée)



$$b) r = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = \frac{20 \times 3}{20 \times 45} = \frac{1}{15}$$

$$n_4 = r \cdot n_1 = \frac{1500}{15} = 100 \text{ tr/min}$$

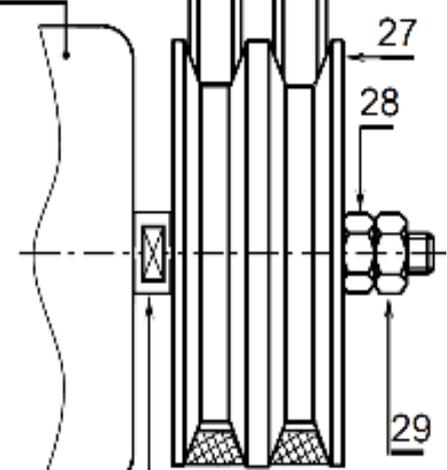
5. Touret à meuler



30	1	Rondelle frein		
29	1	Écrou H (Contre écrou)		
28	1	Écrou H		
27	1	Poulie motrice	$d_{27} = 112 \text{ mm}$	
26	2	Courroie trapézoïdale		
25	1	.....		
24	1	.....		
23	1	.....		
22	1	.....		
21	6	.....		
20	6	Vis CHc		
19	1	Écrou à encoches		
17	2	Flasque		
16	1	.....		
15	1	Meule		
14	1	Couvercle		
13	1	.....		
12	1	Poulie réceptrice	$d_{12} = 85 \text{ mm}$	
11	1	Capot de protection		
10	1	Couvercle		
9	1	.....		
5	1	.....		
4	1	.....		
3	1	.....		
2	1	Arbre de transmission		
1	1	Corps	Moulé	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation

MOTEUR

Arbre moteur



Le touret à meuler est une machine qui permet d'enlever la matière (acier, bois...) par abrasion. Un moteur électrique, qui tourne à **1500 tr/min**, transmet son mouvement à la machine par l'intermédiaire d'un système poulies-courroie.

a. Compléter le texte par les repères adéquats.

La meule **.15.** est solidaire de l'arbre **..2.**, lui-même solidaire de la poulie réceptrice **.12.**, qui reçoit le mouvement de rotation de l'arbre moteur via la poulie motrice **...27** et la courroie **....26**.

b. Calculer le rapport de réduction  $r$  du système poulies-courroie.

$$r = \frac{d_{27}}{d_{12}} = \frac{112}{85} = 1,317$$

c. Calculer la fréquence de rotation  $N_{12}$  (tr/min) ainsi que la vitesse angulaire  $\omega_{12}$  (rd/s).

$$r = \frac{N_{12}}{N_{27}} \Rightarrow N_{12} = r \cdot N_{27} = \frac{112}{85} \times 1500 = 1976,47 \text{ tr/min}$$

$$\omega_{12} = \frac{2\pi}{60} \cdot N_{12} = \frac{\pi}{30} \times 1976,47 \approx 207 \text{ rad/s}$$

d. Préciser le rôle de l'écrou 29. **.....c'est un contre-écrou..... freinage de l'écrou 28 (éviter son desserrage)**

e. Quelle solution est utilisée pour le guidage en rotation 2/1. **.....Cousinets 3 et 4.....**

f. Quel élément assure l'étanchéité statique ? **.....joint plat 9.....**

g. Quels éléments assurent l'étanchéité dynamique ? **.....joint à 1 lèvres 24.....**

**.....joint à 2 lèvres 16.....**

h. La transmission de puissance est réalisée par le système. **.....Poulies et Courroie trapézoïdale**

i. Quelle est l'utilité du trou qui se trouve dans l'arbre 2 ? **.....Trou de lubrification**

j. Proposer une solution de lubrification des coussinets autre que manuellement à la burette.

**.....Utiliser des coussinets auto-lubrifiants**

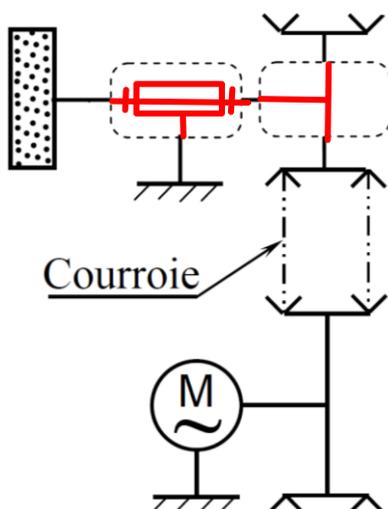
k. Compléter :

Ajustement 2/3 :  $\varnothing 42$ ..... **H7/g6**.....

Ajustement 3/1 :  $\varnothing 52$ ..... **H7/p6**.....

l. Compléter la nomenclature.

m. Compléter le schéma cinématique.

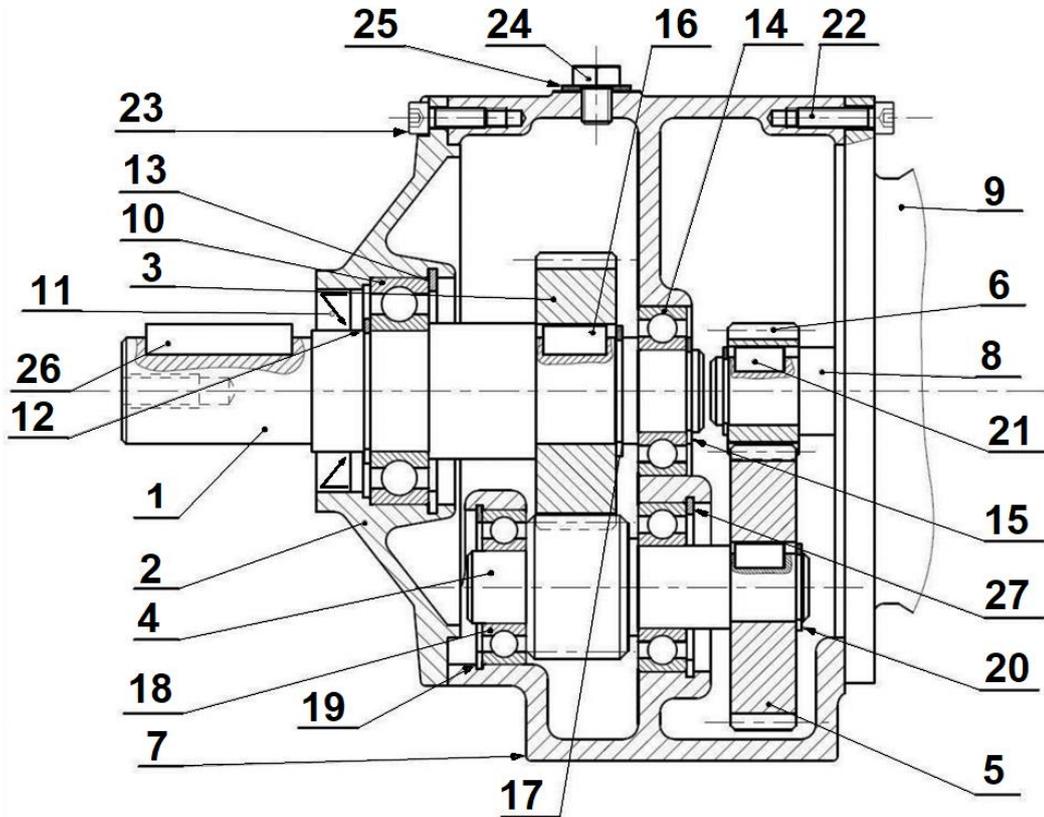


Rep	Désignation	Rep	Désignation
3	Coussinet	21	Rondelle G. roulet
4	Coussinet	22	clavette parallèle
5	Anneau élastique	23	écrou à encoches
9	joint plat	24	joint à lèvres
13	flasque meule	25	Rondelle frein
16	joint à lèvres		

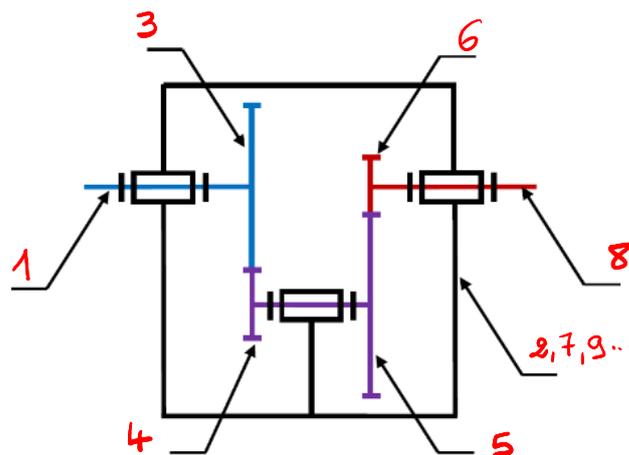
6. Le dessin suivant représente un motoréducteur à engrenages cylindriques à denture droite

Données :  $Z_6 = 16$  ;  $Z_3 = 34$  ;  $Z_5 = 30$  ;  $Z_4 = 12$  ;  $N_8 = 1750$  tr/min.

Engrenage 5-6 :  $m_1 = 2$  Engrenage 3-4 :  $m_2$  .



- a. Compléter le schéma cinématique de ce motoréducteur.



- b. Calculer le rapport global de transmission  $k$ .

$$k = \frac{Z_6 \times Z_4}{Z_5 \times Z_3} = \frac{16 \times 12}{30 \times 34} = 0,188$$

- c. Calculer l'entraxe  $a$  de l'engrenage 5-6.

$$a = \frac{m_1(Z_5 + Z_6)}{2} = \frac{2(30 + 16)}{2} = 46 \text{ mm}$$

- d. Calculer le module  $m_2$  de l'engrenage 3-4.

D'après le dessin, les 2 engrenages ont le même entraxe (les arbres 1 et 8 sont coaxiaux)  
donc  $a = \frac{m_2}{2} (Z_3 + Z_4) \Rightarrow m_2 = \frac{2a}{Z_3 + Z_4} = \frac{2 \times 46}{34 + 12} = 2$

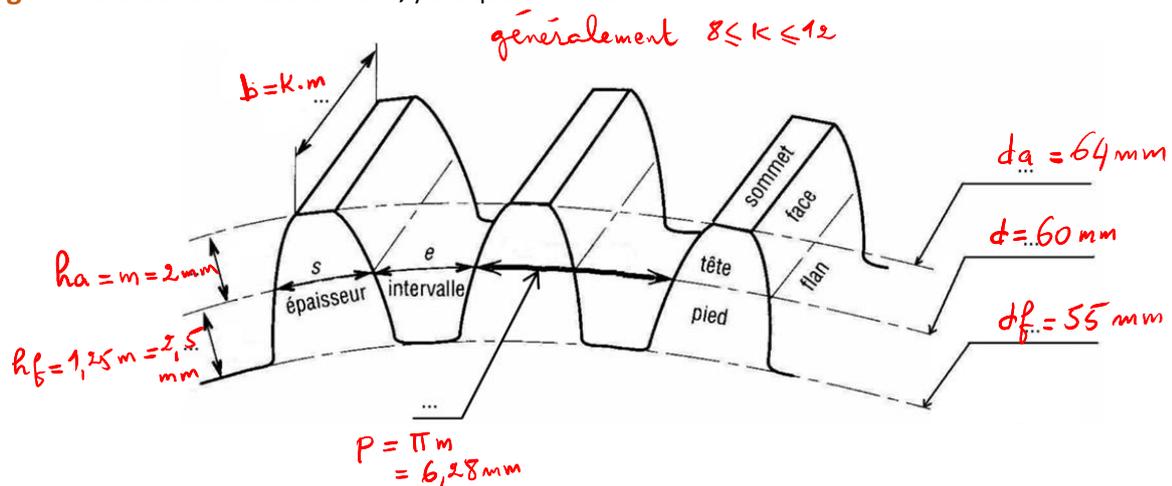
- e. Compléter le tableau des caractéristiques de l'engrenage 5-6.

Roue	Module $m$	$Z$	Pas $p$	$d$	$d_a$	$d_f$	$a$
6	2	16	$\pi \cdot m = 6,28 \text{ mm}$	$m \cdot Z_6 = 32 \text{ mm}$	$d + 2m = 36 \text{ mm}$	$d - 2,5m = 27 \text{ mm}$	46 mm
5	2	30	"	$m \cdot Z_5 = 60 \text{ mm}$	$d + 2m = 64 \text{ mm}$	$d - 2,5m = 55 \text{ mm}$	

- f. Compléter le tableau des caractéristiques de l'engrenage 3-4.

Roue	Module $m$	$Z$	Pas $p$	$d$	$d_a$	$d_f$	$a$
4	2	12	$\pi \cdot m = 6,28 \text{ mm}$	$m \cdot Z_4 = 24 \text{ mm}$	$d + 2m = 28 \text{ mm}$	$d - 2,5m = 23 \text{ mm}$	46 mm
3	2	34	"	$m \cdot Z_3 = 68 \text{ mm}$	$d + 2m = 72 \text{ mm}$	$d - 2,5m = 67 \text{ mm}$	

- g. Ci-dessous la denture la roue 5, y Indiquer les cotes.

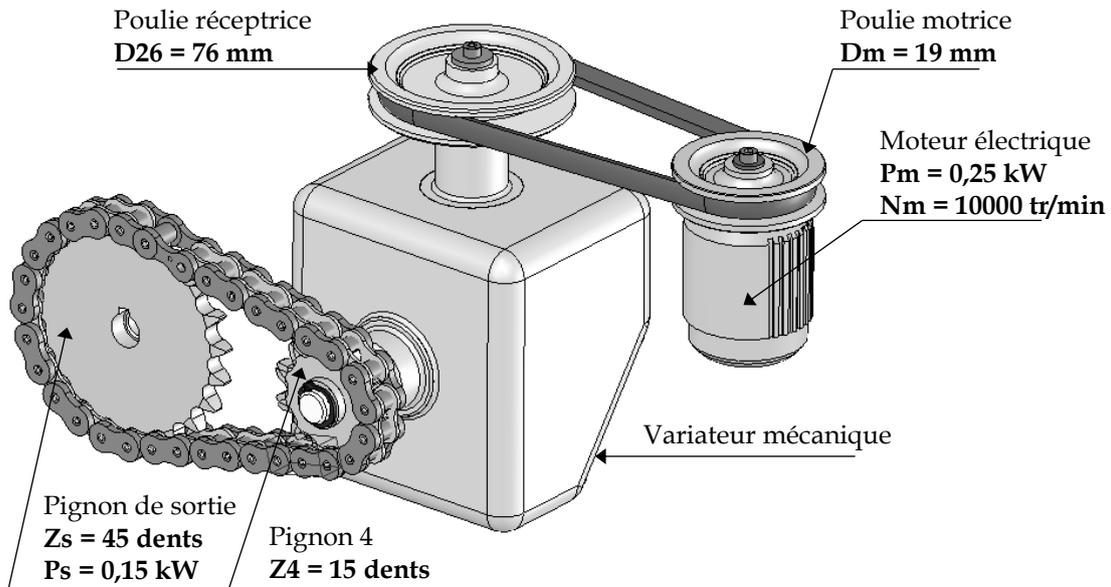


7. La figure donne une vue en perspective d'un système de transmission de puissance utilisé, par exemple, dans une scie à bois.

Il permet de transmettre le mouvement du moteur électrique à l'arbre porte-scie.

Il utilise 3 types de transmission :

- Poulies-courroie.
- Roues de friction.
- Pignon-chaîne.

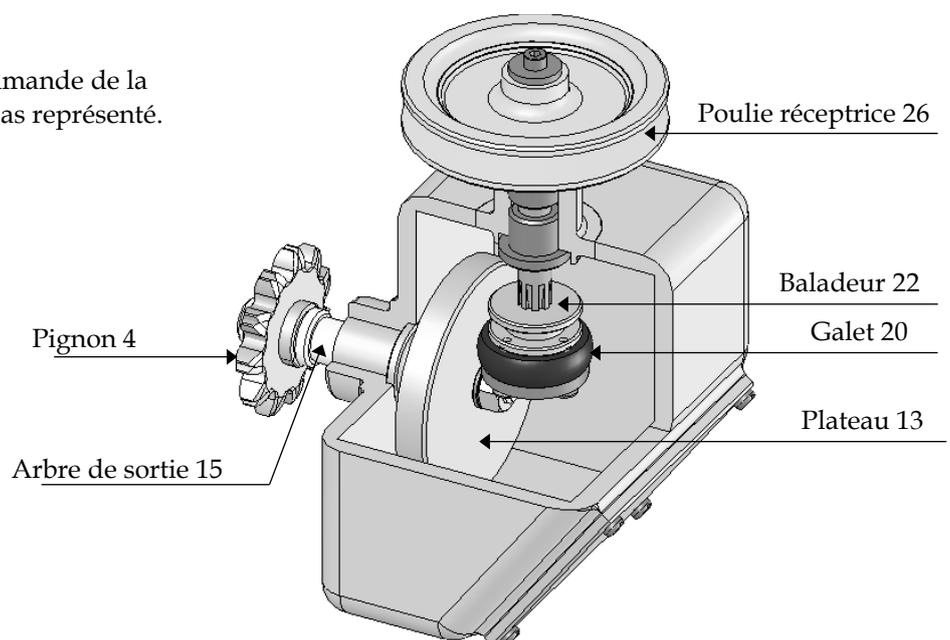


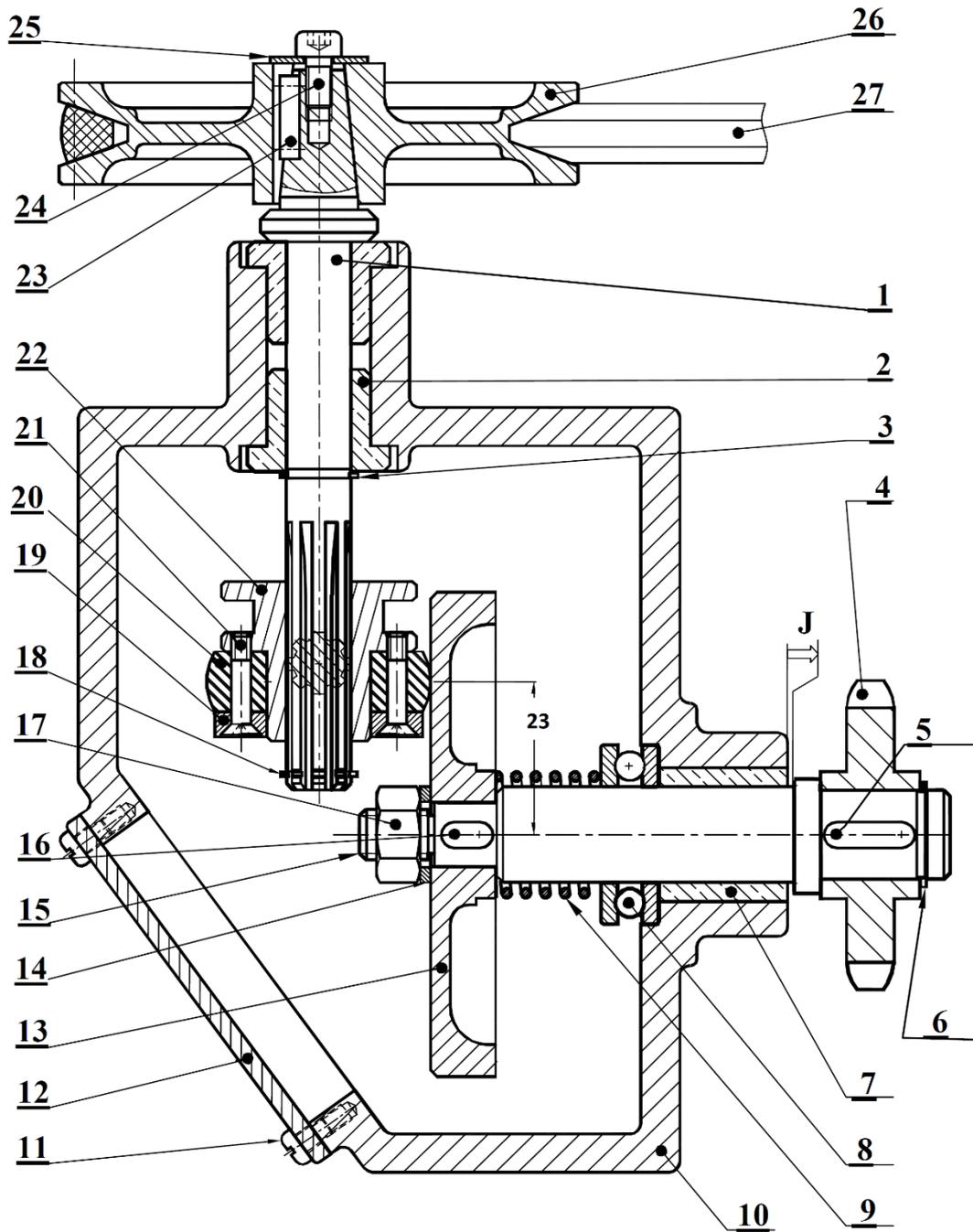
#### Fonctionnement du variateur mécanique

Se référer à la figure ci-dessous et au dessin d'ensemble :

- Le mouvement donné à la poulie réceptrice 26 est transmis à l'arbre de sortie 15 par l'ensemble de friction à galet 20 et plateau 13 ;
- La position du baladeur 22 par rapport au plateau 13 permet de varier le rapport de transmission et donc la vitesse de sortie.

On note que le système de commande de la position du baladeur 22 n'est pas représenté.





14	1	Rondelle plate ISO 10673 – Type S - 8			
13	1	Plateau	27	1	Courroie .....
12	1	Plaquette	26	1	Poulie réceptrice
11	4	Vis à tête cylindrique fendu ISO 1580-M3x5	25	1	Rondelle plate ISO 10673 – Type L - 4
10	1	Corps	24	1	Vis à tête cylindrique à six pans creux ISO –M4x8
9	1	Ressort cylindrique de compression	23	1	Clavette parallèle, forme A, 3 x 3 x 13
8	1	Butée à billes	22	1	Baladeur
7	1	Coussinet cylindrique fritté, 15 x 21 x 20	21	4	Vis à tête fraisée plate ISO 2009 – M3
6	1	Anneau élastique pour arbre, 14 x 1	20	1	Galet en caoutchouc
5	1	Clavette parallèle, forme A, 4 x 4 x 10	19	1	Flasque
4	1	Pignon pour chaîne	18	1	Anneau élastique pour arbre, 10 x 1
3	1	Anneau élastique pour arbre, 10 x 1	17	1	Ecrou hexagonal ISO 4032 – M8
2	1	Coussinet à collerette fritté, C 10 x 16 x 16	16	1	Clavette parallèle forme A
1	1	Arbre d'entrée	15	1	Arbre de sortie
Rep	Nbre	Désignation	Rep	Nbre	Désignation

Etude de la transmission par poulie-courroie

- Comment est réalisée la liaison encastrement entre l'arbre d'entrée (1) et la poulie (26) ?
- Comment l'arbre (1) est guidé en rotation par rapport au bâti (10) ?
- Calculer la vitesse de l'arbre (1).

Etude de la transmission par pignon-chaîne

- Comment est réalisée la liaison encastrement entre l'arbre de sortie (15) et le pignon (4) ?
- Comment l'arbre (15) est guidé en rotation par rapport au bâti (10) ?
- Calculer le rapport de réduction du système pignon-chaîne.
- Calculer le rendement de ce système de transmission.

Etude du variateur mécanique de vitesse

- Que se passera-t-il entre le galet (20) et le plateau (13), s'il y a une augmentation excessive du couple résistant ?
- Compléter le tableau suivant en précisant la solution constructive associée à chaque fonction technique.

Fonction technique	Solution constructive
Guider en rotation l'arbre de sortie 15 et le pignon 4	Coussinets 7
Guider en translation le baladeur 22 par rapport à l'arbre 1	... Cannelures .....
Transmettre le mouvement entre l'arbre 1 et l'arbre 15	... Roues de friction (galet 20 et plateau 13) .....
Créer l'effort presseur pour l'adhérence entre le galet 20 et le plateau 13	... Ressort 9 .....
Supporter la charge axiale sur l'arbre 15 et éviter la torsion du ressort 9	... Butée à billes 8 .....

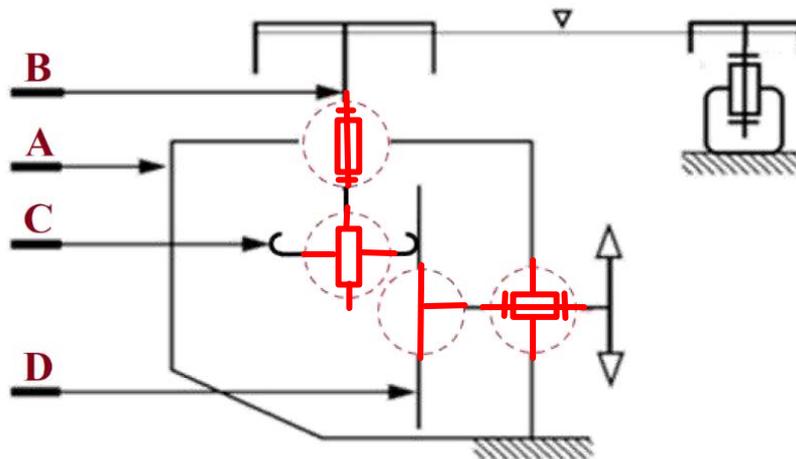
- Compléter le schéma cinématique et les classes d'équivalence qui lui sont associées.

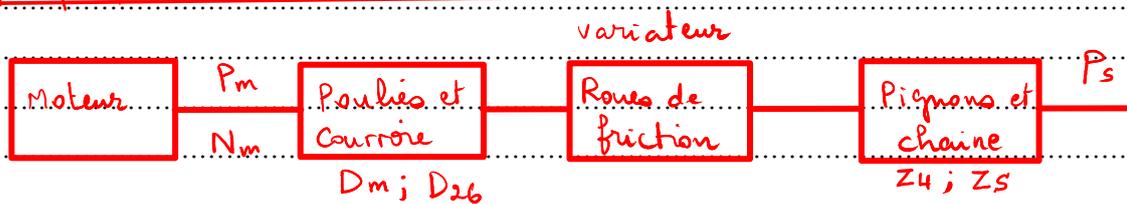
A = {10, Rondelle droite de 8, 2, 7, 11, 12}

B = {1, 26, 3, 18, 23, 24, 25}

C = {22, 19, 20, 21}

D = {15, Rondelle gauche de 8, 4, 5, 6, 13, 14, 16, 17}



Synoptique de la transmission

a) MIP : Centrage + clavette 23 + appui plan (épaulement)

MAP : vis CHC 24 + rondelle 25

b) Par coussinet à roquette 2

c) La fréquence de rotation de l'arbre 1 est égale à celle de la poulie 26.

$$\frac{N_{26}}{N_m} = \frac{D_m}{D_{26}} \Rightarrow N_{26} = N_m \cdot \frac{D_m}{D_{26}} = 1000 \cdot \frac{19}{76} = 250 \text{ tr/min}$$

d) MIP : Centrage + clavette 5 + appui plan (épaulement)

MAP : circlips 6

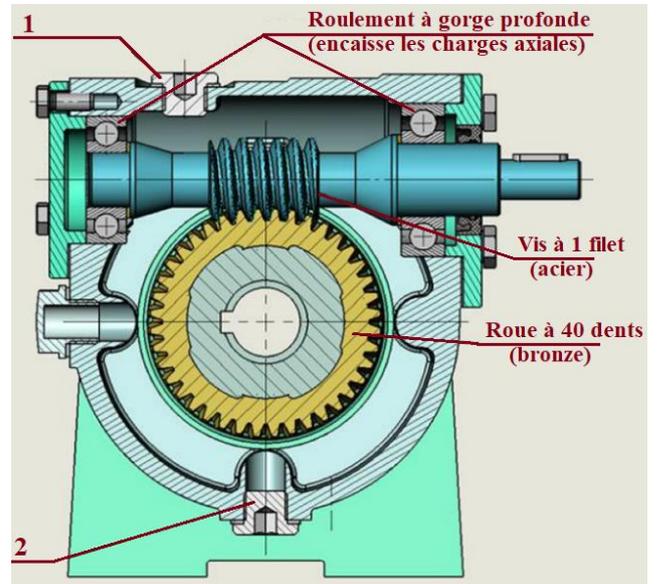
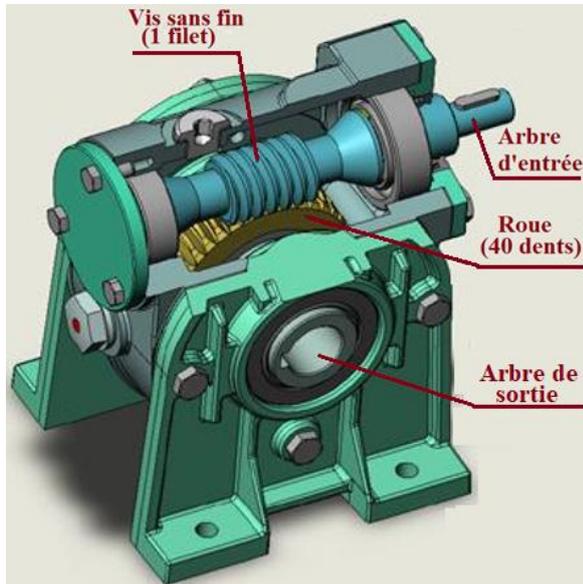
e) Par coussinet 7

$$f) r = \frac{Z_4}{Z_5} = \frac{15}{45} = \frac{1}{3}$$

$$g) \eta = \frac{P_s}{P_m} = \frac{0,15}{0,25} = 60\%$$

h) Il y aura glissement entre le galet 20 et le plateau 13 : le mouvement ne sera plus transmis à l'arbre 15.

8. Le dispositif est un réducteur à roue et vis sans fin de Rendement  $\eta = 0,65$ .  
Pour la vis,  $N_v = 1500 \text{ tr/min}$  et  $P_v = 2 \text{ KW}$



- a. Comment est assuré le guidage en rotation de la vis sans fin ?

*Par roulement à billes à gorge profonde*

- b. Justifier le choix des roulements à gorge profonde.

*Supporter aussi les charges axiales*

- c. Comment est assuré le guidage en rotation de la roue ?

*Par roulements*

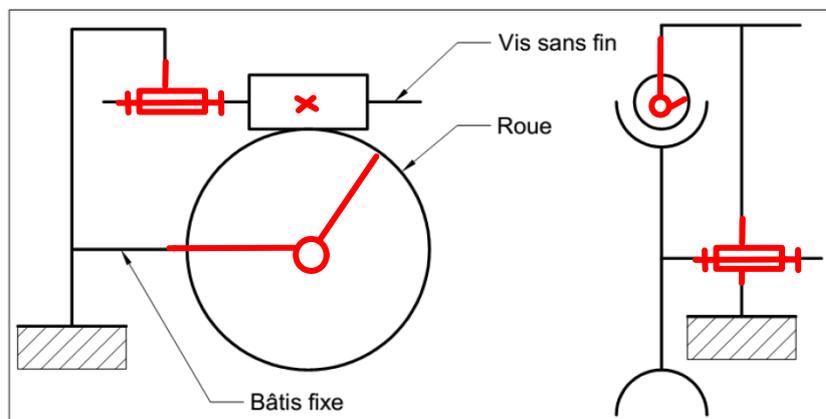
- d. Justifier le choix du matériau en bronze de la roue ?

*Réduire le coefficient de frottement entre la roue et la vis.*

- e. Quel est le nom et la fonction des pièces 1 et 2 ?

*Bouchons pour remplissage et vidange (lubrification)*

- f. Compléter le schéma cinématique du réducteur.



- g. Calculer le rapport de transmission.  
 h. En déduire la vitesse  $N_r$  de la roue.  
 i. Calculer la puissance de sortie sur la roue.  
 j. En déduire les couple  $C_v$  et  $C_r$  sur la vis et sur la roue.

$$g) \quad r = \frac{Z_{vis}}{Z_{roue}} = 1/40$$

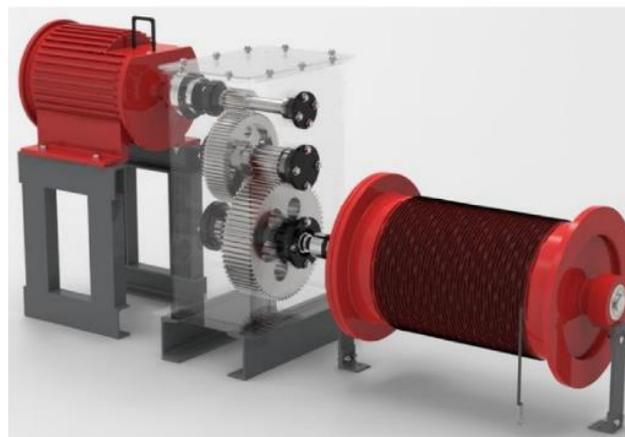
$$h) \quad r = \frac{N_r}{N_v} \Rightarrow N_r = r \cdot N_v = \frac{1}{40} \times 1500 = 37,5 \text{ tr/min}$$

$$i) \quad \eta = \frac{P_r}{P_v} \Rightarrow P_r = \eta \cdot P_v = 0,65 \times 2 = 1,3 \text{ kW}$$

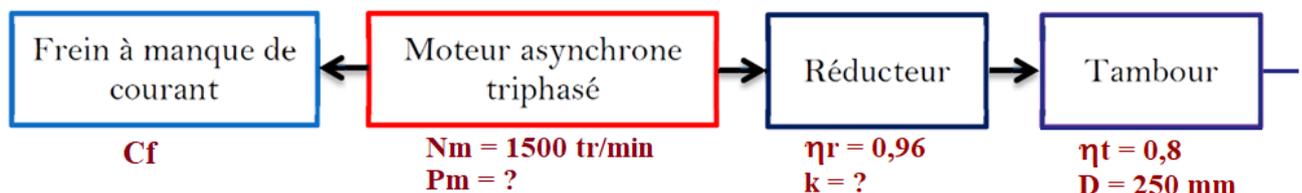
$$j) \quad C_v = \frac{P_v}{\omega_v} = \frac{P_v}{\frac{2\pi \cdot N_v}{60}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_v}{N_v} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{2 \times 10^3}{1500} = 12,73 \text{ Nm}$$

$$C_r = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_r}{N_r} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{1,3 \times 10^3}{37,5} = 331 \text{ Nm}$$

9. Le mécanisme suivant représente un treuil de levage composé d'un moteur asynchrone triphasé associé à un frein à manque de courant et un réducteur à deux étages d'engrenages et un tambour plus câble. Le système est capable de soulever une charge maximale  $M = 250 \text{ Kg}$ .

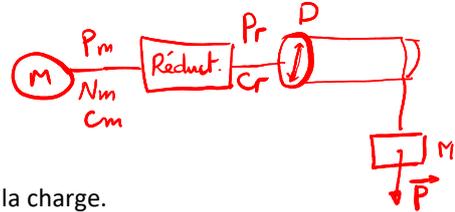


Le schéma synoptique est le suivant :



Sachant que le système soulève la charge à une vitesse  $V_c = 0,5 \text{ m/s}$ , on demande de calculer :

- La puissance nécessaire  $P_t$  pour soulever la charge  $M$  ;
- Le couple  $C_t$  exercé par la charge sur le tambour ;
- La puissance  $P_r$  en sortie du réducteur ;
- Le couple  $C_r$  (couple résistant) en sortie du réducteur ;
- La vitesse angulaire  $\omega_r$  en sortie du réducteur ;
- La puissance  $P_m$  du moteur capable de soulever la charge ;
- Le rapport de transmission  $K$  et le couple moteur  $C_m$  ;
- Le couple de freinage  $C_f$  minimal capable de maintenir immobile la charge.



$$a) P_t = P \cdot V_c = M \cdot g \cdot V_c = 250 \times 10 \times 0,5 = 1250 \text{ W}$$

$$b) C_t = P \cdot \frac{D}{2} = M \cdot g \cdot \frac{D}{2} = 250 \times 10 \times \frac{250 \times 10^{-3}}{2} = 312,5 \text{ Nm}$$

$$c) \eta_t = \frac{P_t}{P_r} \Rightarrow P_r = \frac{P_t}{\eta_t} = \frac{1250}{0,8} = 1562,5 \text{ W}$$

$$d) C_r = \frac{P_r}{\omega_r} = \frac{P_r}{\frac{V_c}{D/2}} = \frac{D}{2} \cdot \frac{P_r}{V_c} = \frac{250 \times 10^{-3}}{2} \cdot \frac{1562,5}{0,5} = 390,6 \text{ Nm}$$

(La vitesse angulaire  $\omega_r$  en sortie du réducteur est égale à celle du tambour.)

$$\text{Autrement, } \eta_t = \frac{P_t}{P_r} = \frac{C_t \cdot \omega_r}{C_r \cdot \omega_r} = \frac{C_t}{C_r} \text{ d'où } C_r = \frac{C_t}{\eta_t} = 390,6 \text{ Nm}$$

$$e) \omega_r = \frac{V_c}{D/2} = \frac{0,5}{250 \times 10^{-3}} \times 2 = 4 \text{ rad/s} \quad (\text{ou } \omega_r = \frac{P_r}{C_r})$$

$$f) P_m = \frac{P_r}{\eta_r} = \frac{1562,5}{0,96} = 1627,6 \text{ W}$$

$$g) * K = \frac{N_r}{N_m} = \frac{30 \times \omega_r}{N_m} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{4}{1500} = 0,0254$$

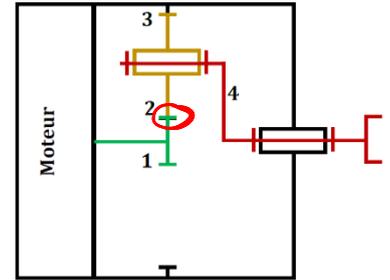
$$* C_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{P_m}{N_m} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{1627,6}{1500} = 10,36 \text{ Nm}$$

h.) Il faut que  $C_f \geq C_m = 10,36 \text{ Nm}$ .

10. Pour le train épicycloïdal ci-contre, l'entrée est sur le pignon 1 et la sortie est sur une poulie liée au porte satellite 4.

$N_1 = 1330 \text{ tr/min}$ ,  $Z_1 = 18$  et  $Z_3 = 138$ .

Calculer la vitesse de sortie  $N_4$ .



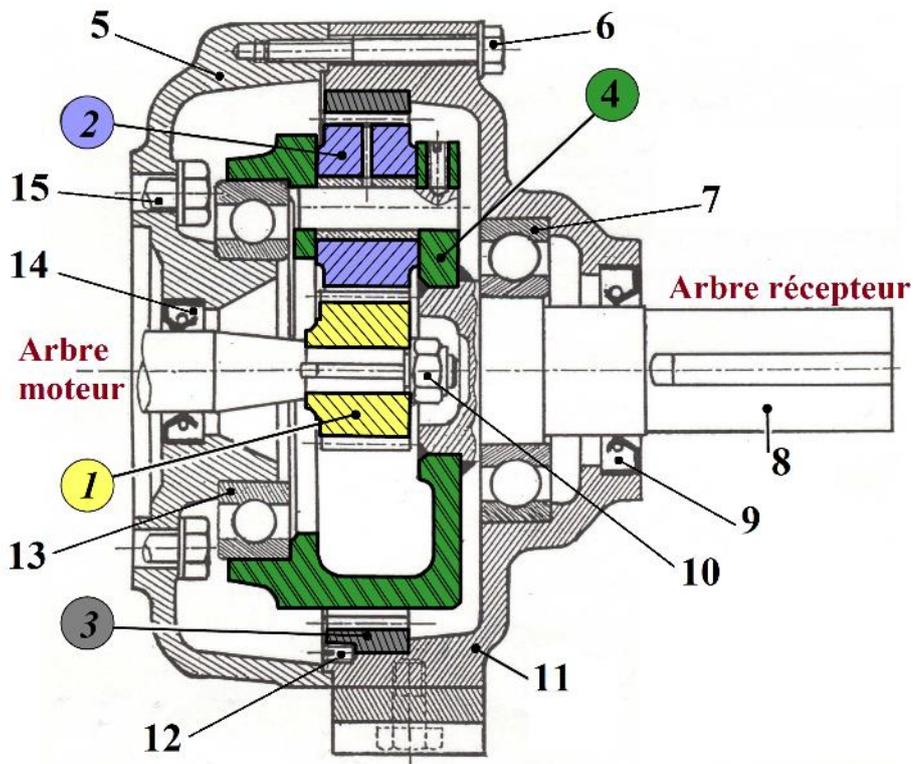
La couronne 3 est fixe,  $\omega_c = 0$

$$\frac{\omega_c - \omega_p}{\omega_p - \omega_s} = (-1)^n \frac{\prod(Z_{\text{menées}})}{\prod(Z_{\text{menées}})} \text{ devient } \frac{0 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4} = - \frac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_3} = - \frac{Z_1}{Z_3}$$

$$\Rightarrow Z_1(\omega_1 - \omega_4) = Z_3 \cdot \omega_4 \quad \Rightarrow Z_1 \cdot \omega_1 = (Z_1 + Z_3) \omega_4$$

$$\Rightarrow \omega_4 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \cdot \omega_1 \quad \text{ou} \quad N_4 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \cdot N_1 = \frac{18}{18 + 138} \cdot 1330 = 153,46 \text{ tr/min}$$

### 11) Réducteur à train épicycloïdal



Le réducteur à train épicycloïdal ci-dessus a les caractéristiques suivantes :

$Z_1 = 17$  et  $Z_3 = 119$ .

$N_1 = 800 \text{ tr/min}$ .

- a. Comment sont encastrés :
- Les carters gauche (5) et droit (11) ?
  - Le carter (11) et la couronne (3) ?
  - L'arbre de sortie (8) et le porte-satellite (4) ?
  - L'arbre d'entrée et le planétaire (1) ?
- b. Quel est le rôle des vis (15) ?
- c. Comment l'ensemble {4, 8} est guidé en rotation par rapport au bâti {5, 6, 11, 12} ? (Préciser le type de roulements, les bagues serrées/ libres et les arrêts axiaux).
- Préciser comment sont assurées la lubrification et l'étanchéité.
- d. Identifier les éléments 1, 2, 3 et 4
- e. Tracer le schéma cinématique
- f. Déterminer la fréquence de sortie N<sub>8</sub>.

a) . Carters 5 et 11 → appui plan + centrage court + vis 6  
 . Carter 11 et Couronne 3 → " + " + goupille 12  
 . Arbre 8 et porte-satellite 4 → Soudage  
 . Arbre d'entrée et planétaire 1 → appui plan + centrage + clavette + écrou 10

b) Fixer le boîtier du réducteur sur le moteur.

c) → Par roulements 7 et 13. C'est un montage un peu particulier :

\* Pour le roulement 7 (l'arbre 8 est tournant) :

- bague interne serrée ; arrêt axial par l'épaulement de l'arbre 8

- bague externe avec jeu ; " " " " du carter 11

\* Pour le roulement 13 (l'alésage (porte-satellite 4) est tournant) :

- bague externe serrée ; arrêt axial par l'épaulement du porte-sat. 4

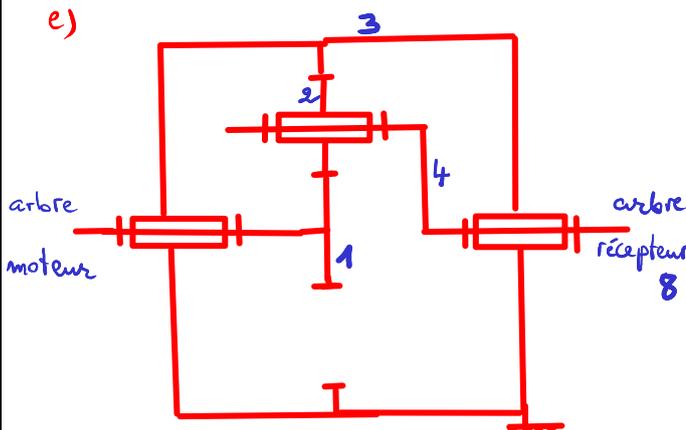
- bague interne avec jeu ; " " " " du carter 5

→ Lubrification par de l'huile par barbotage. Le trou dans le satellite 2 facilite la répartition du lubrifiant.

→ L'étanchéité est assurée par les joints (à une lèvre) 9 et 14

d) 1 : planétaire ; 2 : satellite ; 3 : couronne ; 4 : porte-satellite

e)



f) La couronne 3 étant fixe,

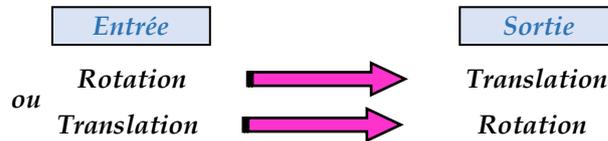
$$\frac{N_4}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \quad (\text{voir l'exercice précédent})$$

$$\text{donc } N_8 = N_4 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \cdot N_1$$

$$N_8 = \frac{17}{17 + 119} \cdot 800 = 100 \text{ t/min.}$$

## Transmission avec transformation de mouvement

On dit qu'il y a transformation de mouvement, si une rotation se transforme en une translation ou inversement.

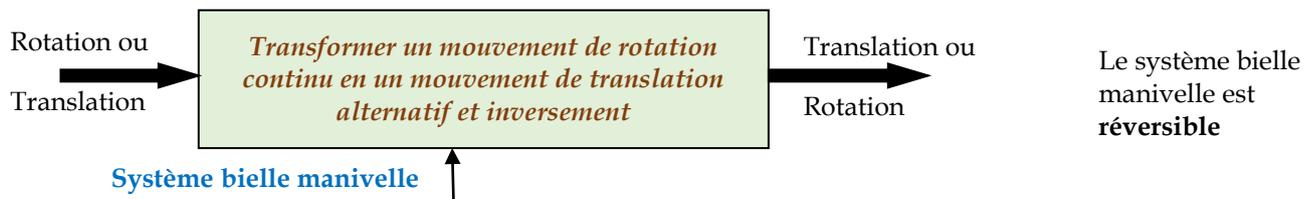


Il existe plusieurs systèmes permettant cette transformation, les plus utilisés sont :

**Bielle manivelle, excentrique, pignon crémaillère, came, vis-écrou.**

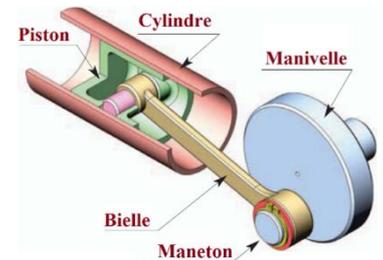
### Système bielle manivelle

Ce mécanisme est destiné à transformer un mouvement de rotation continue en un mouvement de translation rectiligne alternatif (de va-et-vient) (moteur à combustion interne ...) ou inversement (pompe à piston, scie sauteuse...).

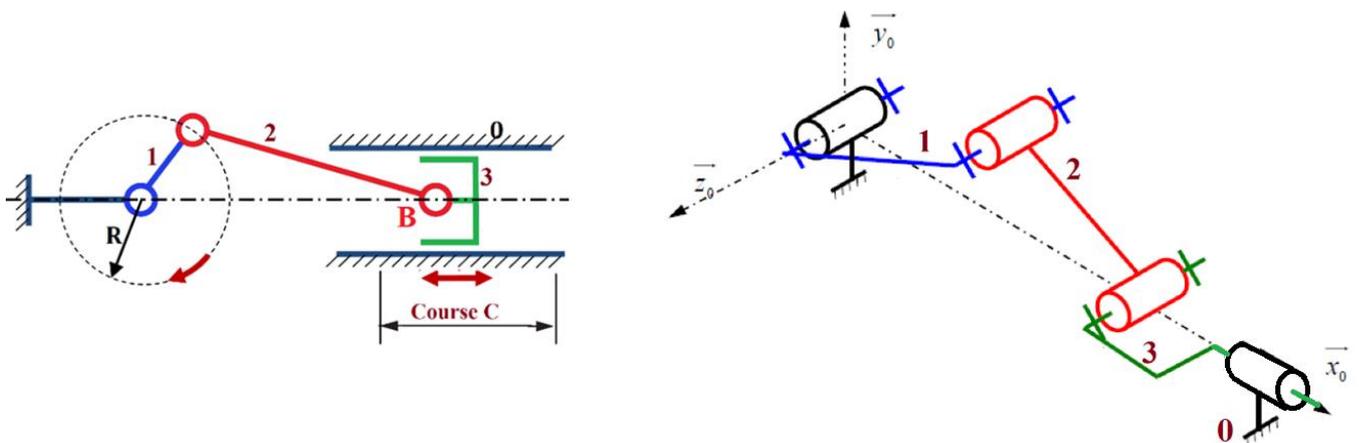


Le système bielle-manivelle est constitué des éléments suivants :

- La bielle, qui possède à chaque extrémité une articulation ;
- La manivelle, appelée aussi vilebrequin, présente une partie excentrée (maneton) ;
- L'oscillateur, généralement un piston, est muni d'un mouvement de translation alternatif.



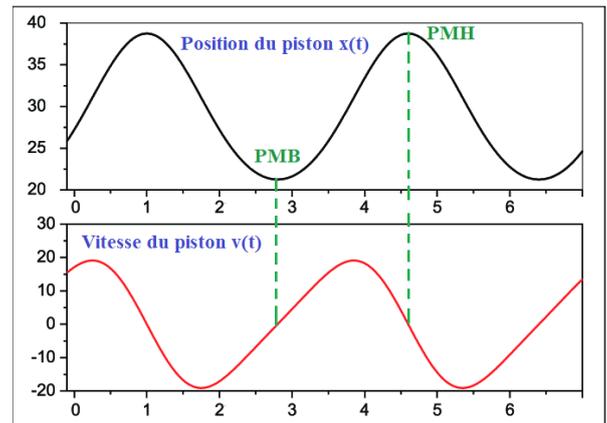
### Cinématique



- 1 : manivelle (ou vilebrequin)  
2 : Bielle  
3 : Piston

Voici un exemple de graphes de la position  $x(t)$  et de la vitesse  $v(t)$  du piston

- **PMH** : c'est la position la plus haute du point B, appelée Point Mort Haut parce que sa vitesse s'annule pour changer de signe.
- **PMB** : c'est la position la plus basse du point B, appelée Point Mort Bas parce que sa vitesse s'annule pour changer de signe.



La distance  $C$  séparant les deux points morts est appelée course du piston.

Course  $C = 2R$  (R : excentricité de la manivelle)

Vitesse moyenne du piston  $V = 4.R.N$  (N : fréquence de rotation de la manivelle)

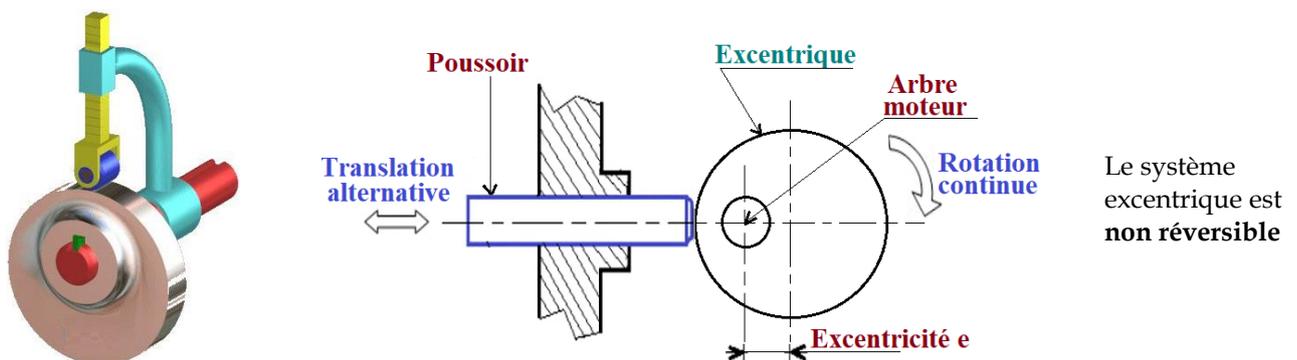
**Avantage** Peut fonctionner à grande vitesse.

### Inconvénients

- Présence de beaucoup de frottement dû aux nombreuses articulations de ce système ;
- Nécessite beaucoup de lubrification.

## Excentrique

Un excentrique permet de transformer un mouvement de rotation continu en un mouvement de translation alternatif.

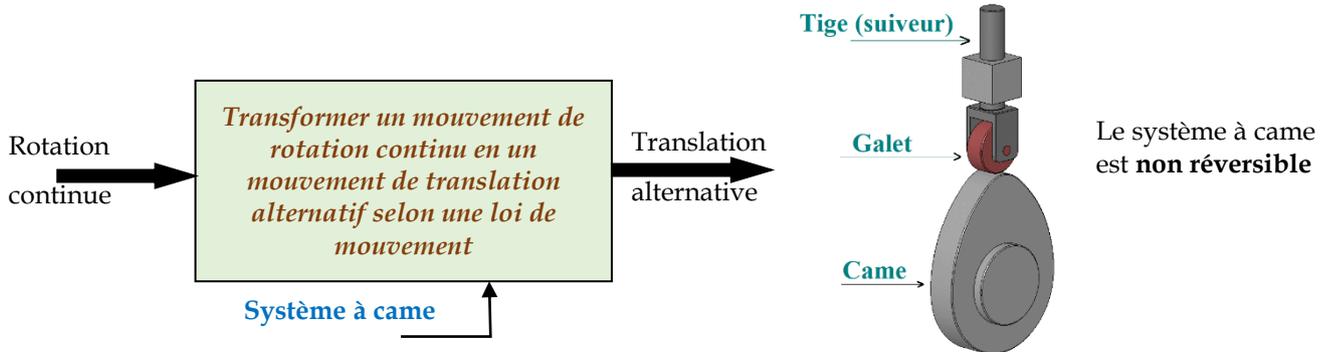


Un excentrique est cinématiquement équivalent à une manivelle (du système bielle/manivelle) dont le rayon  $R$  est égal à l'excentricité  $e$ .

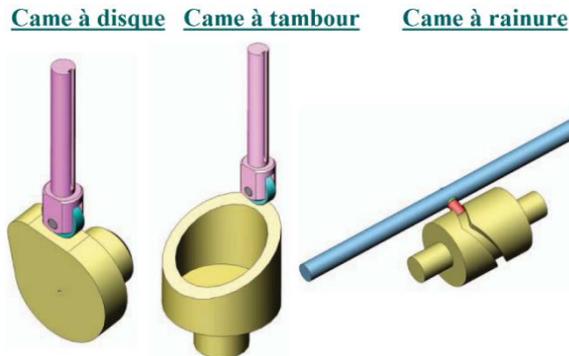
La course du poussoir est  $C = 2.e$

## Cames

Le système à came permet de transformer le mouvement de rotation continue d'une came en un mouvement de translation alternatif d'une tige-poussoir (suiveur).



### Types de cames

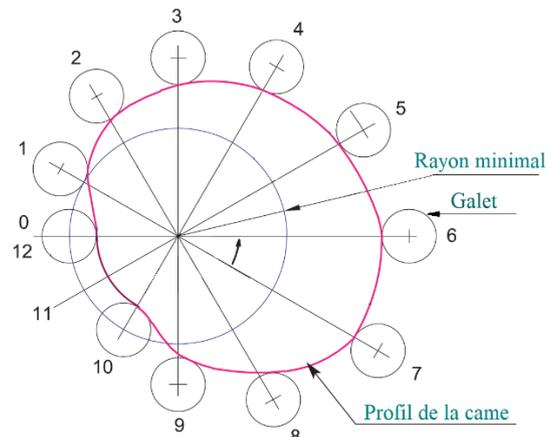
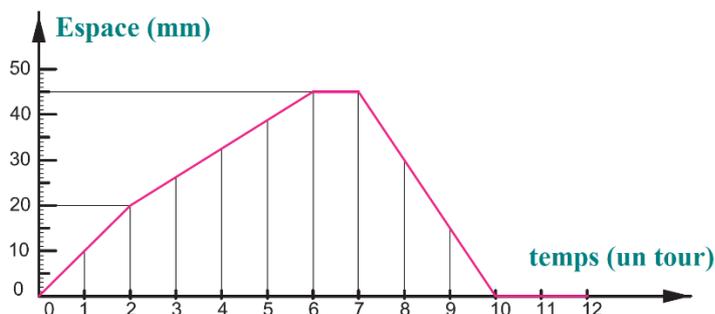


### Profil de la came

C'est la loi du mouvement du suiveur qui définit la géométrie du profil de la came.

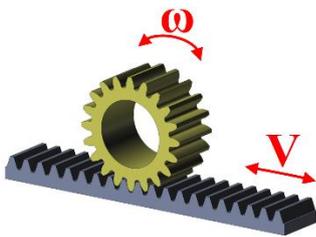
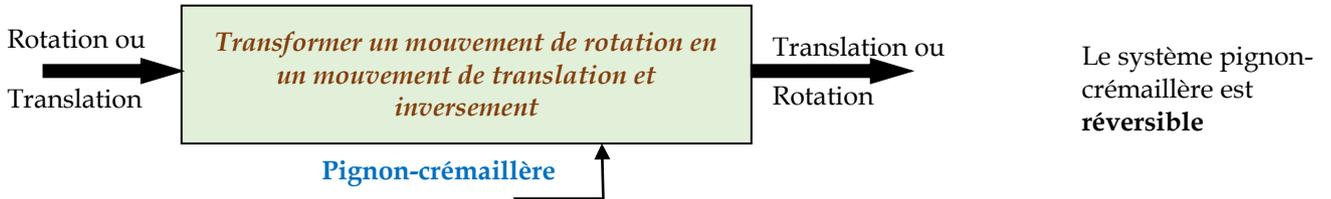
#### Démarche

- Tracer le cercle minimal (de rayon égal à la plus petite distance entre le centre de la came et celui du galet) ;
- Diviser le cercle en 12 parties égales (au minimum) ;
- Mesurer, sur le graphe espace-temps, les variations de la course et les reporter à l'extérieur du cercle ;
- Tracer les 12 positions du galet ;
- Tracer la courbe qui joint les extrémités des galets, c'est le profil pratique de la came.



## Pignon-crémaillère

Ce système est constitué d'une **roue dentée** (pignon) et une tige dentée appelée **crémaillère**.

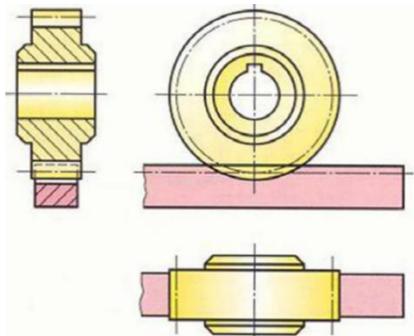


Déplacement  $x$  de la crémaillère pour une rotation  $\alpha$  du pignon :  $x = R \cdot \alpha$   
 Vitesse de déplacement de la crémaillère :  $V = R \cdot \omega$

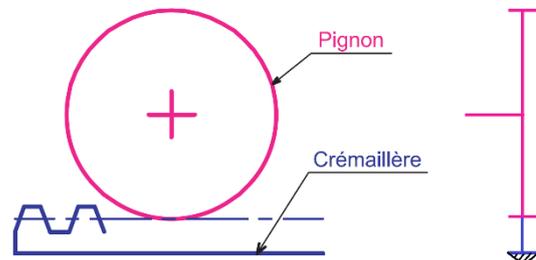
$R$  est le rayon primitif du pignon,  $R = \frac{d}{2} = \frac{m \cdot Z}{2}$

Rendement :  $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{F \cdot V}{C \cdot \omega}$  (cas où le pignon est moteur)

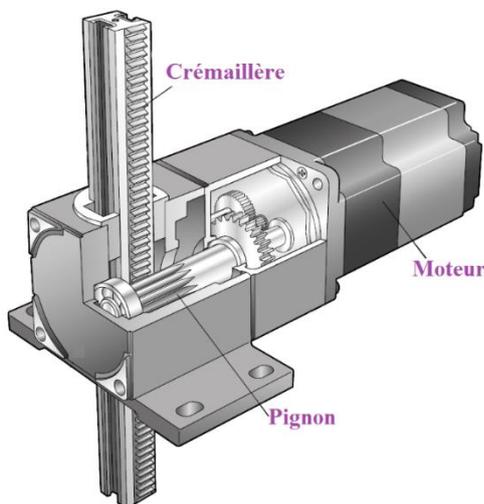
### Dessin



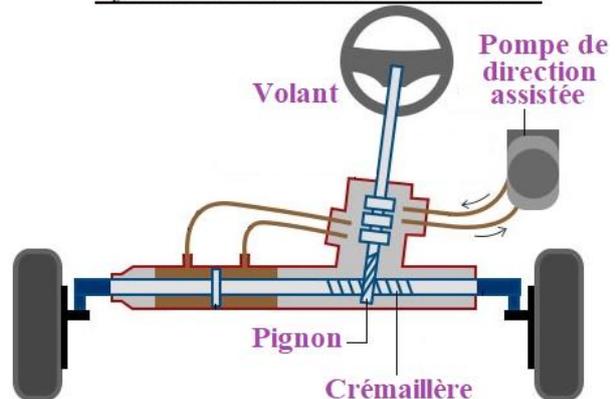
### Schéma cinématique



### Exemples d'utilisation

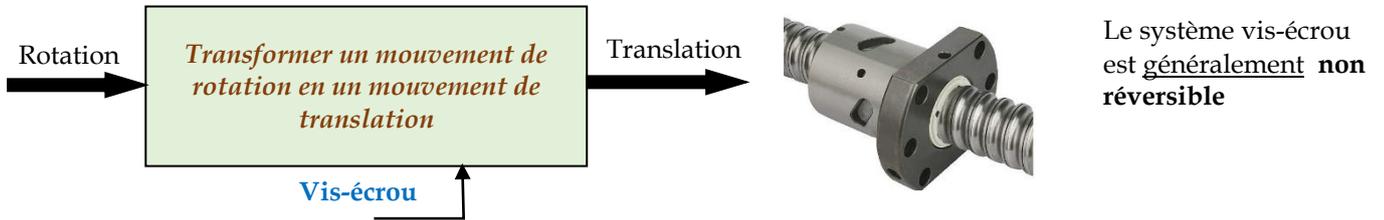


### Système de direction d'une voiture



## Vis-écrou

Le système Vis-écrou permet de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation.

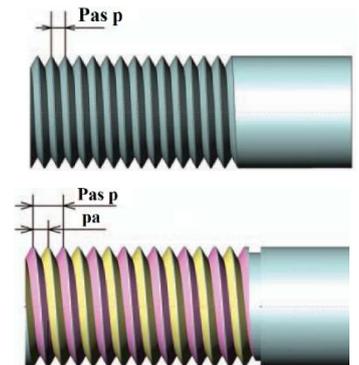


### Nombre de filets et pas de filetage

Généralement, un filetage comporte un seul filet correspondant à la rainure hélicoïdale réalisée.

Le pas est la distance qui sépare deux sommets consécutifs d'une même hélice.

- Pour une vis à 1 filet, le pas réel  $p$  de l'hélice est égal au pas apparent.
- Pour une vis à  $n$  filets, le pas réel  $p$  est tel que  $p = n \cdot p_a$  ( $p_a$  : pas apparent).



### Lois de la transformation

Déplacement  $x$  pour un nombre de tours  $n$  et pour une rotation  $\alpha$  :  $x = p \cdot n = p \cdot \frac{\alpha}{2\pi}$  ( $p$  : pas réel).

Vitesse linéaire de déplacement  $V = p \cdot N$  ( $N$  : vitesse de rotation).

### Configurations possibles

	1 <sup>er</sup> cas	2 <sup>e</sup> cas	3 <sup>e</sup> cas	4 <sup>e</sup> cas																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Vis</th> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>Ecrou</th> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		R	T	Vis	1	1	Ecrou	0	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Vis</th> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>Ecrou</th> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		R	T	Vis	1	0	Ecrou	0	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Vis</th> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>Ecrou</th> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		R	T	Vis	0	0	Ecrou	1	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R</th> <th>T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>Vis</th> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>Ecrou</th> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		R	T	Vis	0	1	Ecrou	1	0
	R	T																																						
Vis	1	1																																						
Ecrou	0	0																																						
	R	T																																						
Vis	1	0																																						
Ecrou	0	1																																						
	R	T																																						
Vis	0	0																																						
Ecrou	1	1																																						
	R	T																																						
Vis	0	1																																						
Ecrou	1	0																																						

Pour limiter les frottements et améliorer le rendement de la transmission, on recourt à des éléments roulants.

### Vis-écrou à billes

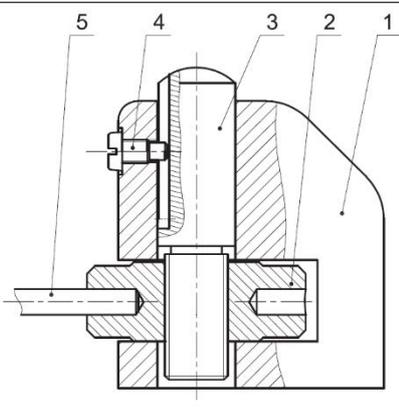
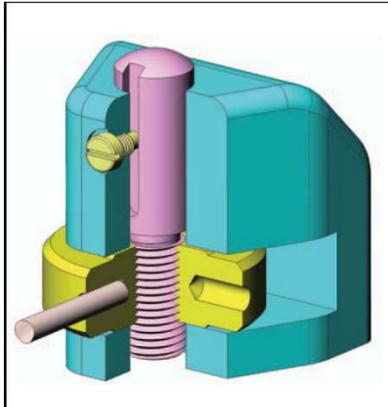


Exercices

1. Borne de calage

Les dessins suivants représentent une borne de calage.

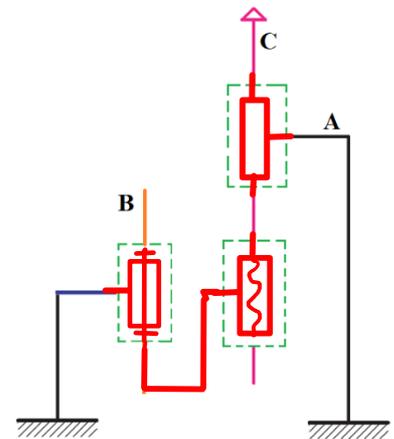
La rotation de l'écrou 2 à l'aide du levier 5 provoque la translation de l'axe vis 3.



5	1	Levier
4	1	Vis de guidage
3	1	Axe vis
2	1	Ecrou
1	1	Corps
Rep	Nb	Désignation
<b>BORNE DE CALAGE</b>		

Compléter le schéma cinématique

A = {1, ... }  
B = {2, ... }  
C = {3, ... }



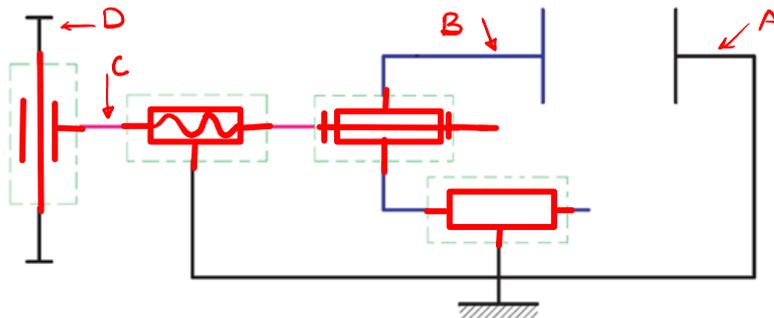
2. Etau de perceuse

Les dessins d'ensemble en 3D et en 2D suivants représentent un étau de perceuse permettant de fixer une pièce en vue de réaliser une opération de perçage.

La rotation de la vis de manœuvre (2) assurée par le bras (1) provoque la translation du mors mobile (5) pour obtenir le serrage ou le desserrage de la pièce à usiner.

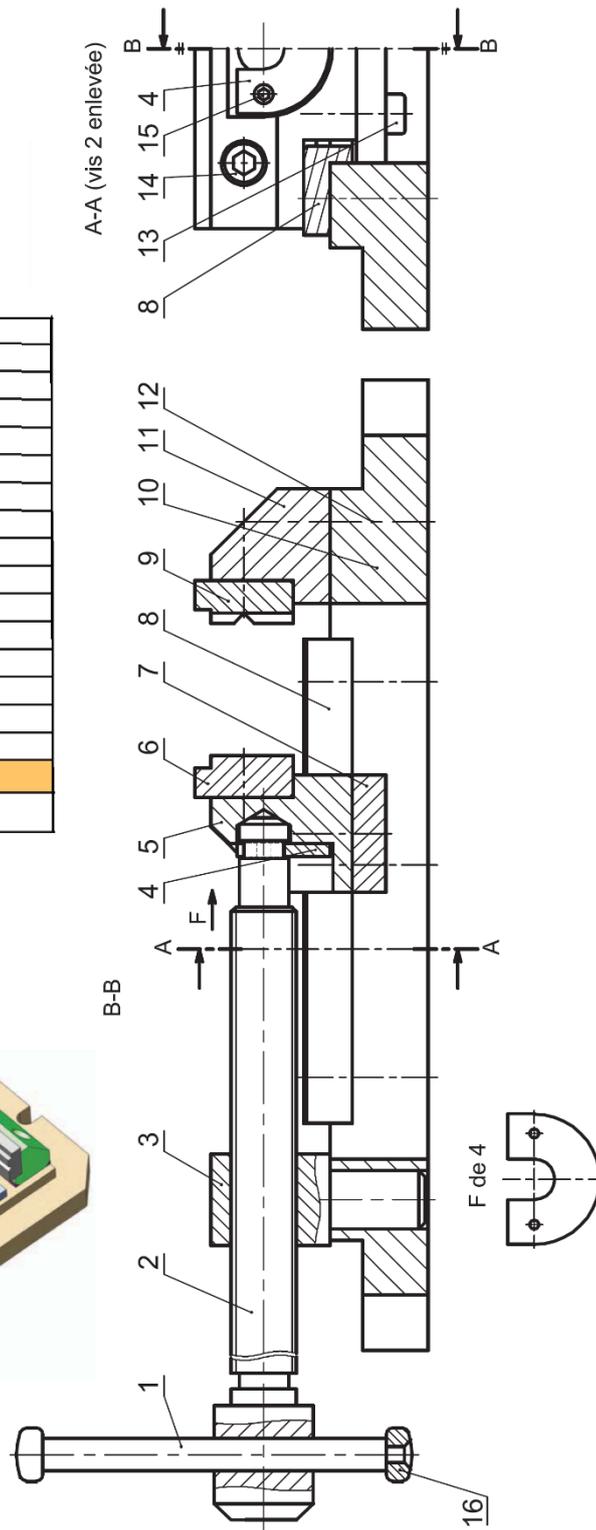
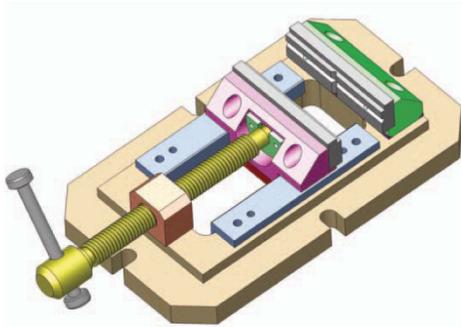
- a. Compléter le schéma cinématique.
- b. Quel doit être le pas de filetage (un seul filet) pour obtenir un déplacement C = 60 mm du mors mobile pour n = 20 tours du bras de manœuvre ?

A = {3, ... }  
B = {5, ... }  
C = {2, ... }  
D = {1, ... }



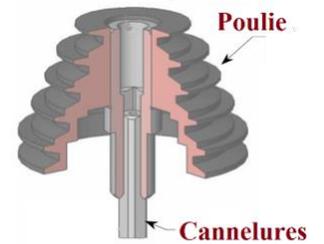
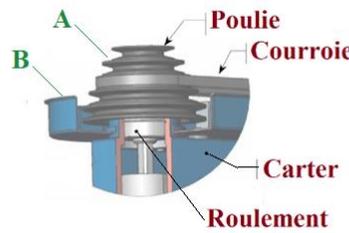
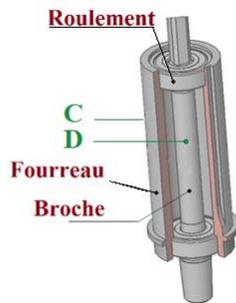
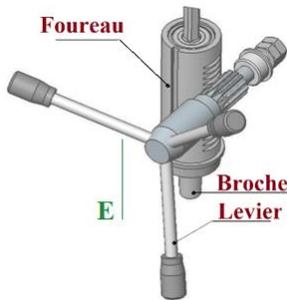
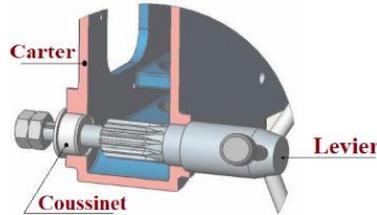
b)  $C = n \cdot p$  ( $p$  = pas réel = pas apparent car il y a 1 filet)  
 $\Rightarrow p = \frac{C}{n} = \frac{60}{20} = 3 \text{ mm}$

16	2	Embout
15	2	Vis
14	2	Vis
13	2	Vis
12	2	Vis
11	1	Mors fixe
10	1	Corps
9	1	Mordache
8	2	Guide
7	1	contre glissière
6	1	Mordache
5	1	Mors mobile
4	1	Plaquette
3	1	Ecrou
2	1	Vis de manoeuvre
1	1	Bras de manoeuvre
<b>Rep</b>	<b>Nb</b>	<b>Désignation</b>
<b>ETAU DE PERCEUSE</b>		



3. Perceuse sensitive

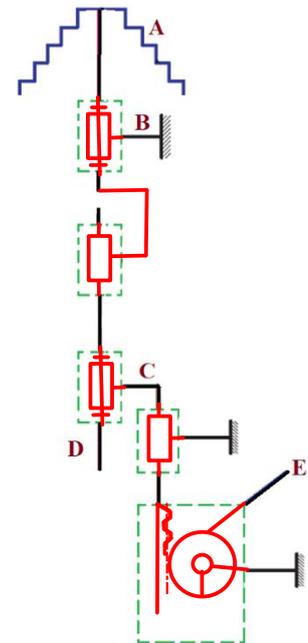
La rotation du levier de commande provoque la translation du fourreau et donc celle de la broche qui supporte le foret. La broche est entraînée en rotation par la poulie.



a. Par quel dispositif est assurée la transformation de mouvement (rotation du levier en translation du fourreau) ?

b. Compléter le tableau des liaisons et le schéma cinématique.

Liaison	Type
A-B	..... P i v o t .....
C-D	..... P i v o t .....
A-D	..... G l i s s i è r e .....
B-C	..... G l i s s i è r e .....
C-E	..... P i g n o n - c r é m a i l l è r e .....
B-E	..... P i v o t .....



On donne : module de la denture du système pignon-crémaillère  $m = 2 \text{ mm}$ .  
Nombre de dents du pignon  $Z = 15 \text{ dents}$ .

- c. Calculer le nombre de tours effectués par le levier de commande pour effectuer un déplacement de l'outil (foret) de 160 mm.
- d. Calculer la course de l'outil pour un demi-tour du levier.

c.)  $x = R \cdot \alpha \Rightarrow \alpha = \frac{x}{R}$  ;  $R = \frac{D}{2}$  où  $D$  est le diamètre primitif du pignon.

$$\text{donc } R = \frac{mZ}{2} = \frac{2 \times 15}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{x}{R} = \frac{160}{15} = 10,67 \text{ rad}$$

Le nombre de tours correspondant à la course  $x$  est  $n = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{10,67}{2\pi} \approx 1,7$  tours.

d.) Pour un  $\frac{1}{2}$  tour,  $\alpha = \pi$  rad et  $x = R \cdot \alpha = 15 \cdot \pi = 47,12$  mm

4. A partir du schéma cinématique en vue de face, répondre aux questions suivantes :

- Donner le nom des éléments **18**, **22** et **23**.
- Donner le nom des liaisons **18-22**, **23-7**, **22-23** et **18-7**.
- Sachant que la manivelle est animée d'un mouvement de rotation  $N = 1500$  tr/min, quel est le nombre  $N_b$  de montée et descente du piston en une minute.
- En déduire le volume  $V$  refoulé par le piston pendant une minute (en  $\text{cm}^3$ ), sachant que son diamètre est  $d = 35$  mm, et le rayon de **23** est  $R = 40$  mm.
- Compléter les liaisons pivot du schéma du système en vue de gauche.

Schéma en vue de face

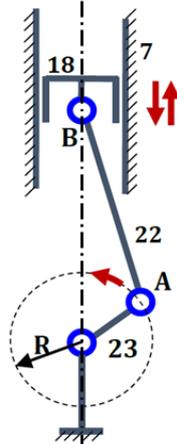
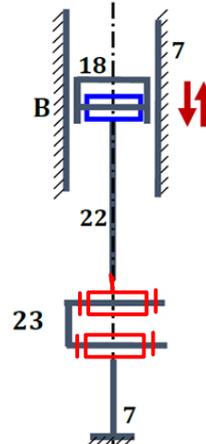


Schéma en vue de gauche



a) 18: Piston      22: bielle      23: manivelle

b) 18-22, 23-7 et 22-23 : pivot      18-7 : pivot-glissant

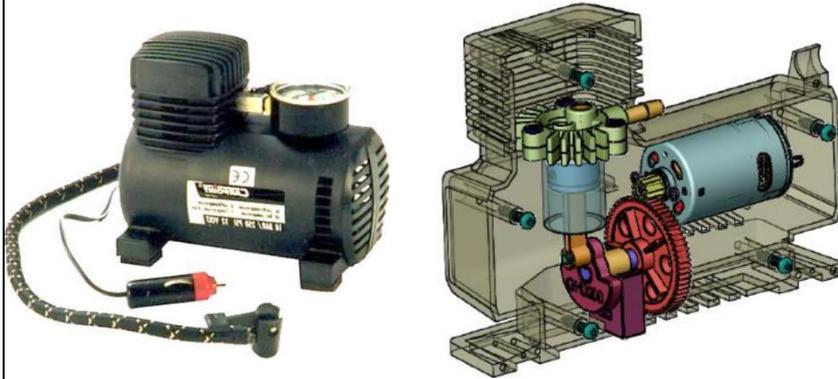
c) 1 tour de la manivelle correspond à 1 cycle de va-et-vient du piston.  
Le nombre de va-et-vient du piston est donc 1500 par minute.

d) La cylindrée (volume refoulé pendant un cycle du piston) est  $Cy = S \cdot C$   
( $C$ : Course du piston et  $S$ : surface du piston)

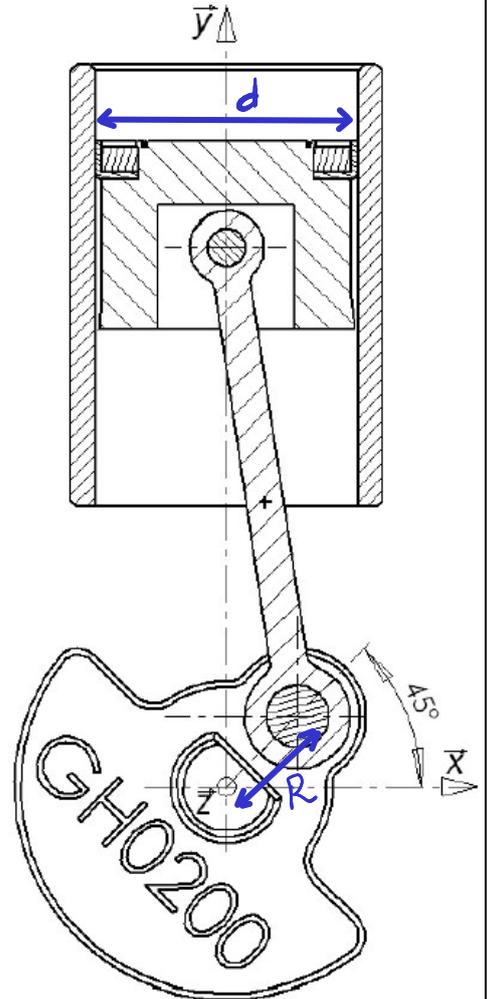
Pendant une minute, le volume est  $V = 1500 \cdot Cy = 1500 \cdot S \cdot C = 1500 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2R$

$$V = 1500 \cdot \frac{\pi (35 \times 10^{-1})^2}{4} \cdot 2 \cdot (40 \times 10^{-1}) = 115453,5 \text{ cm}^3$$

5. Le mini-compresseur 12 V est conçu pour gonfler occasionnellement un pneu de véhicule léger. Il est équipé d'une prise d'alimentation électrique adaptée à la douille de l'allume-cigare ; le conduit à air de gonflage dispose d'un connecteur à verrouillage de la tige de la valve.

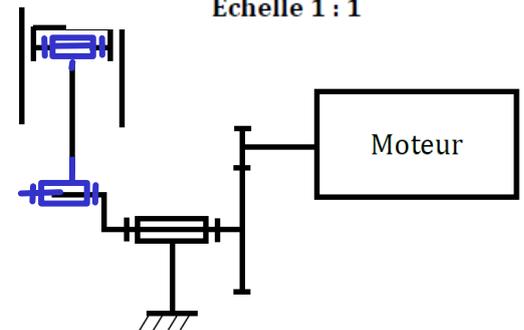
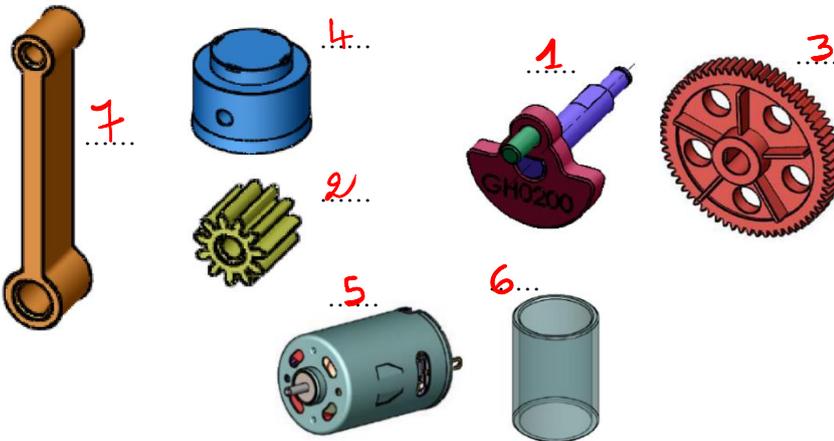


Dessin du compresseur en coupe



- a. A partir de la liste suivante, mettre le repère convenable sur les pièces suivantes et sur le schéma cinématique, puis compléter-le par les liaisons adéquates.

Vilebrequin (1)    Pignon (2)    Roue (3)    Piston (4)  
Moteur (5)    Cylindre (6)    Bielle (7)



- b. A partir du dessin du compresseur, quelle est la valeur de la course  $C$  et du diamètre  $d$  du piston ?  
c. En déduire la cylindrée du compresseur  $Cy$  (en  $\text{cm}^3$ ).  
d. Calculer le débit  $Q$  du compresseur (en  $\text{l/min}$ ) sachant que  $N_m = 11000 \text{ tr/min}$ , et que le nombre de dents du pignon et de la roue sont respectivement **11 dents** et **64 dents**.

b) on lit graphiquement  $d \approx 32 \text{ mm}$  et  $R \approx 12 \text{ mm}$   
donc  $C = 2R \approx 24 \text{ mm}$

c)  $Cy = S \cdot C = \frac{\pi d^2}{4} \cdot C = \frac{\pi}{4} \cdot (32)^2 \cdot 24 = 19,3 \text{ cm}^3$

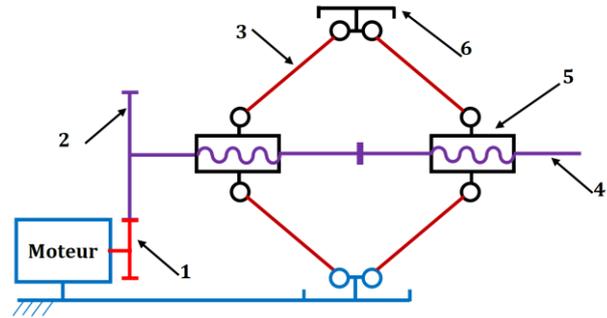
d)  $Q = Cy \cdot N$  ;  $N$  : fréquence de rotation de la manivelle ;

$$N = N_m \cdot \frac{Z_{\text{pignon}}}{Z_{\text{roue}}} = 11000 \cdot \frac{11}{64} = 1890,6 \text{ tr/min}$$

$$Q = Cy \cdot N = 19,3 \times 10^{-3} \times 1890,6 = 36,49 \text{ l/min.}$$

## 6. Cric électrique

Le dispositif permet de soulever une voiture à la hauteur souhaitée.



- Quelles sont les différentes liaisons utilisées ?
- Calculer la vitesse de rotation  $N_2$  (en tr/min) de la vis 4 sachant que  $N_m = 4600$  tr/min,  $Z_1 = 7$  et  $Z_2 = 68$ .
- En déduire la vitesse  $V_5$  de déplacement de l'écrou 5, sachant que  $p = 5$  mm.
- Calculer le temps nécessaire  $t_s$  pour soulever une voiture d'une hauteur  $h = 350$  mm. (La valeur de la vitesse verticale de 6 étant la même que celle de 5).
- Le sens du filetage de la vis 4 doit-il être le même sur toute sa longueur ?

a) 2-4 : encastrement      3-5 : pivot  
3-6 : pivot      3-0 : pivot  
4-5 : hélicoïdale

$$b) N_2 = N_m \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 4600 \cdot \frac{7}{68} = 473,5 \text{ tr/min}$$

$$c) V_5 = p \cdot N_2 \quad (p: \text{pas du filetage})$$

$$V_5 = 5 \cdot \frac{473,5}{60} = 39,46 \text{ mm/s}$$

$$d) t_s = \frac{h}{V_6} = \frac{h}{V_5} = \frac{350}{39,46} = 8,87 \text{ s}$$

e) Non. Une moitié de la vis 4 à filetage droit et l'autre moitié à filetage gauche.

PARTIE

3

# CHAÎNE D'INFORMATION

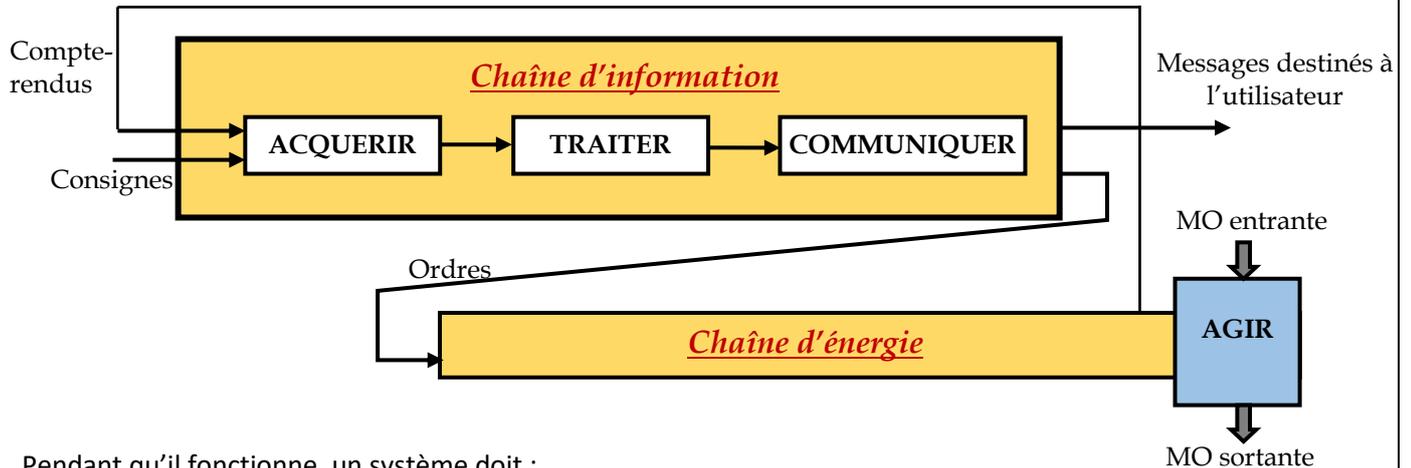


*La chaîne d'information d'une voiture comprend, entre autres, les capteurs (de température, de vitesse, d'accélération, de pluie...), les calculateurs (injection, ABS, airbag, clim..), le calculateur central.*

## Structure fonctionnelle de la chaîne d'information

La chaîne d'information traite les informations qu'elle reçoit afin de coordonner les actions de la chaîne d'énergie en lui envoyant des ordres .

La chaîne d'information est constituée des fonctions génériques : **Acquérir**, **Traiter**, **Communiquer** qui contribuent à l'évolution du cycle de travail du système.



Pendant qu'il fonctionne, un système doit :

- Connaître l'état de sa partie opérative et parfois de son environnement : ce sont les **compte-rendus** (des grandeurs physiques) issus de **capteurs**.
- Recevoir de l'utilisateur des informations d'exploitation par l'intermédiaire de boutons, télécommande... : ce sont les **consignes** de l'utilisateur.

Ces informations sont ensuite exploitées par l'unité de traitement puis transmises vers :

- Les préactionneurs de la chaîne d'énergie pour réaliser des actions : ce sont les **ordres**.
- L'utilisateur par l'intermédiaire de voyants, afficheurs... : ce sont les **messages**.

### Cas du store automatique

Les capteurs détectent les grandeurs physiques : vitesse du vent et intensité de la lumière du soleil.

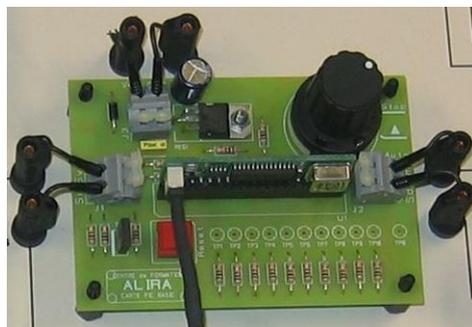


Compte-rendus



Consignes

Carte de traitement à microcontrôleur



La carte commande des voyants pour informer l'utilisateur sur l'état du vent et du soleil.

Messages



Ordres



L'utilisateur commande le mouvement du store et effectue des réglages.

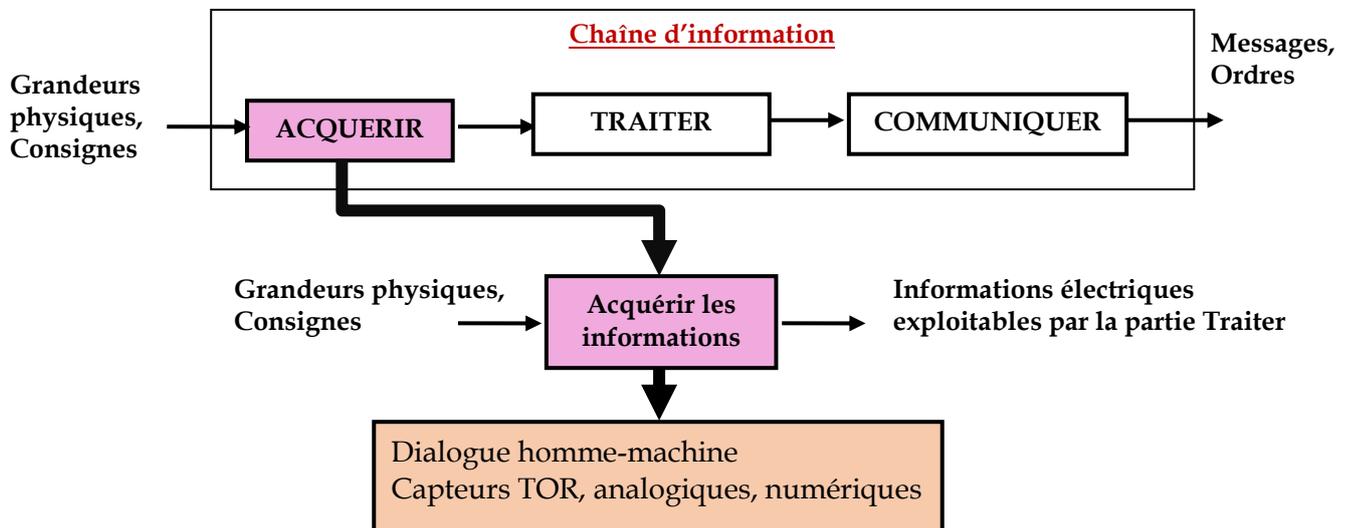
La carte ordonne la rotation du moteur afin de monter ou descendre la toile du store .

## Fonction Acquérir

Un système doit acquérir deux types d'information :

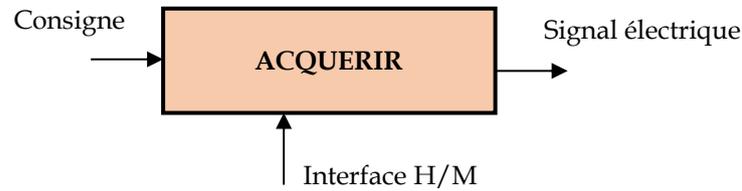
- Les **consignes** qui concernent les interventions de l'utilisateur (données d'exploitation, réglage, programmation...).
- Les **grandeurs physiques** qui concernent l'état de la partie opérative (présence, vitesse, position...) et l'état de l'environnement (température, vent, éclairage...).

La position de la fonction Acquérir dans une chaîne d'information, ainsi que les différentes réalisations sont représentées par la figure suivante :

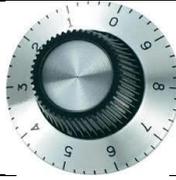


## A. Les interfaces homme/machine (les consignes)

Eléments qui prélèvent les consignes et les convertissent en signal électrique destiné à la partie Traiter.



### Exemples

	Composant	Exemples de consignes		Composant	Exemples de consignes
	Bouton poussoir	Marche, arrêt		Potentiomètre	Réglage d'une vitesse
	Bouton coup de poing	Arrêt d'urgence		Clavier	Limitation d'accès par mot de passe
	Commutateur à plusieurs positions	Sélection du programme de lavage sur une machine à laver		Télécommande	Verrouillage, déverrouillage des portes d'une voiture
	Ecran tactile	Programmation d'une machine à café multifonction			

## B. Les capteurs

### Mise en situation

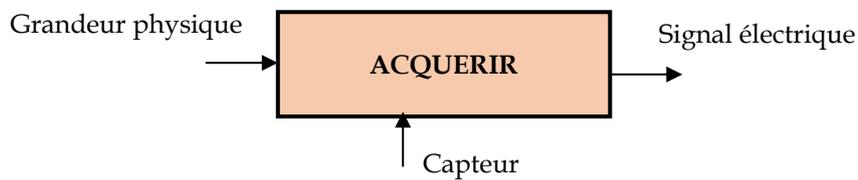
En automobile, tout devient électronique : l'injection, l'allumage, la climatisation, l'indicateur de vitesse, la position des sièges, le freinage...

Tout cela est géré par des calculateurs à base de microprocesseur.

Cependant, pour fonctionner, ces calculateurs ont besoin d'informations qui sont prélevées sur le moteur, la boîte de vitesse, les roues... C'est le rôle des **capteurs**.

Un capteur prélève une grandeur physique et la convertit en signal électrique destiné à la partie Traiter. La grandeur physique à détecter peut-être :

- Du système lui-même (position, vitesse, température, force, pression...).
- Du milieu extérieur (température ambiante, vitesse du vent, soleil...).

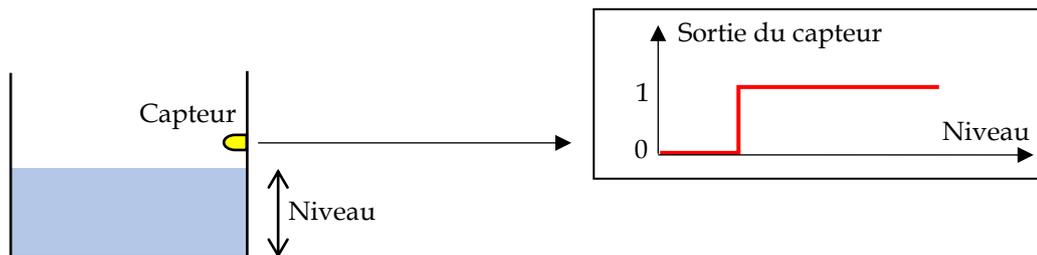


### Nature de l'information de sortie d'un capteur

L'information électrique issue du capteur peut être **logique**, **analogique** ou **numérique**.

#### Capteur logique (Déecteur)

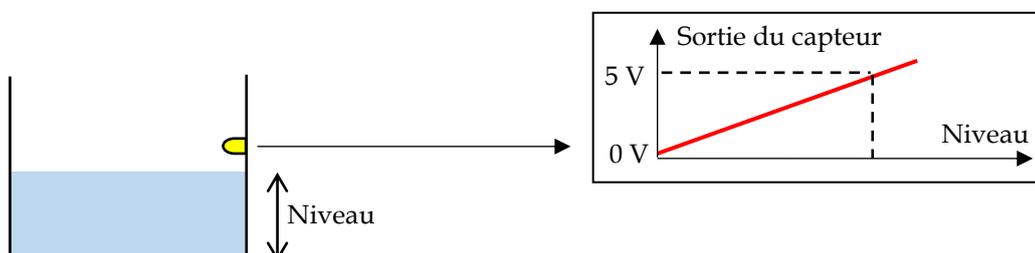
Le signal de sortie du capteur varie de manière **binaire**, il ne peut prendre que deux valeurs **1** ou **0**. Le capteur est appelé capteur tout ou rien (T.O.R) ou capteur logique.



#### Capteur analogique

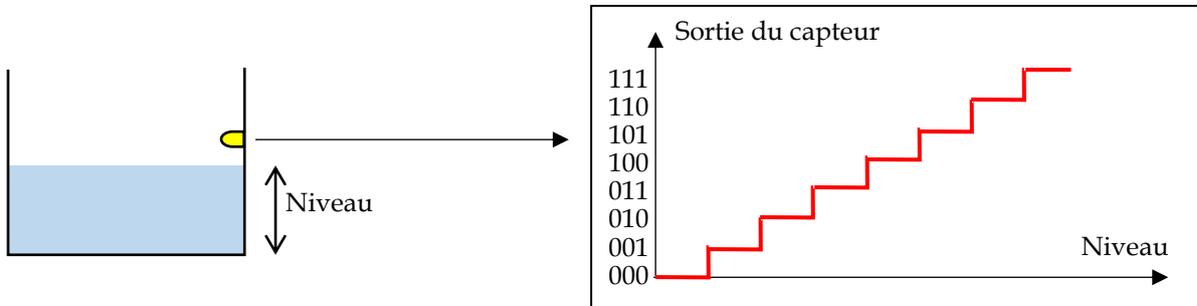
Le signal de sortie varie de façon progressive ; ce signal est une **tension** image du phénomène physique d'entrée.

Ces capteurs sont généralement utilisés pour la mesure (mesure de la température d'un local, du niveau de carburant dans le réservoir d'une voiture, de la vitesse du vent pour une station météo...).



### Capteur numérique (Codeur)

Le signal de sortie varie par échelons ; à chaque valeur de la grandeur d'entrée correspond une **valeur numérique** c'est-à-dire une combinaison de 0 et de 1. La sortie est directement exploitable par une unité de traitement numérique.



### Caractéristiques des capteurs

Ces caractéristiques sont des contraintes de mise en œuvre et de choix d'un capteur. On distingue :

<b>Résolution</b>	C'est la plus petite variation de la grandeur à mesurer que le capteur peut déceler.
<b>Précision</b>	C'est l'aptitude du capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur.
<b>Sensibilité</b>	C'est l'attente minimale nécessaire après une variation de la grandeur à mesurer.
<b>Etendue de mesure</b>	C'est la plage de valeurs possibles de la grandeur à mesurer (valeur max et min) pour laquelle le capteur répond aux spécifications du constructeur.
<b>Rapidité</b>	C'est l'aptitude de capteur à suivre, dans le temps, les variations de la grandeur à mesurer.
<b>Linéarité</b>	C'est l'aptitude à présenter la même sensibilité sur toute l'étendue de sa plage d'emploi.

### Composants de la fonction ACQUERIR pour le store automatique

<b>Capteurs</b>	
	Le module Soliris intègre un capteur de la vitesse du vent et un autre du niveau d'ensoleillement.
	Deux fins de course pour limiter les mouvements de montée et de descente du store.
<b>Eléments de consigne du module Soliris Uno</b>	
	Le module Soliris Uno contient : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 3 boutons (montée, arrêt et descente du store) ;</li> <li>▪ Un commutateur à deux positions (vent / vent + soleil) ;</li> <li>▪ Et, sous le cache, deux potentiomètres de réglage (Seuil du vent et seuil du soleil).</li> </ul>

## Capteurs TOR

On peut classer les capteurs de présence TOR en deux grandes familles :

- ⇒ **Les détecteurs avec contact** : interrupteurs de position ou fin de course actionnés par contact direct avec des objets (à détecter).

### Utilisation

Détection directe de tout objet solide.  
La détection de pièces machines (comes, butées, pignons).  
La détection de balancelles, chariots, wagons.



### Symbole



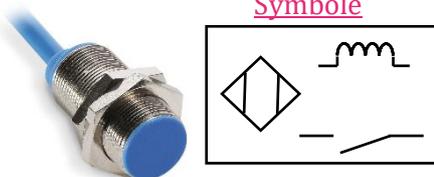
### Variantes de têtes d'action



- ⇒ **Les détecteurs sans contact**

- **Les détecteurs de proximité** pour détecter sans contact physique et à faible distance de l'objet (de quelques mm à quelques cm).

### Détecteur de proximité inductif



### Symbole

La détection a lieu lorsqu'un objet métallique s'approche et entre dans le champ électromagnétique généré par le détecteur.

### Exemples d'utilisation

- Détection d'objets en mouvement dans des lignes de fabrication.
- Contrôle du bon fonctionnement du train d'atterrissage, fermeture des portes pour un avion.
- Capteur ABS.

### Détecteur de proximité capacitif



### Symbole

La détection a lieu lorsqu'un objet métallique ou non métallique s'approche et entre dans le champ électrique généré.

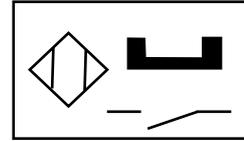
### Exemples d'utilisation

- Détection de la présence de tous types de pièces et de matériaux (solides, liquides, fluides visqueux ou pulvérulents).
- Détection de niveau (notamment dans la détection de fluides liquides ou visqueux à travers des flacons en plastique).

### Les interrupteurs à lame souple (ILS)

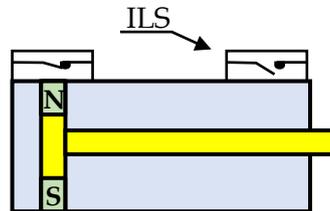
Permet de détecter tous les métaux magnétiques. En présence d'un champ magnétique, le contact est fermé ; en son absence, le contact est ouvert.

#### Symbole



#### Exemples d'utilisation

Contrôler les positions d'un vérin



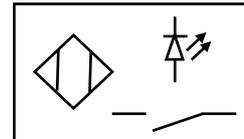
Autres types de détecteurs de proximité : à ultrasons, à effet Hall, magnétique....

- **Les détecteurs photoélectriques** : se composent d'un émetteur de lumière infrarouge modulée associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure ou variation du faisceau lumineux.

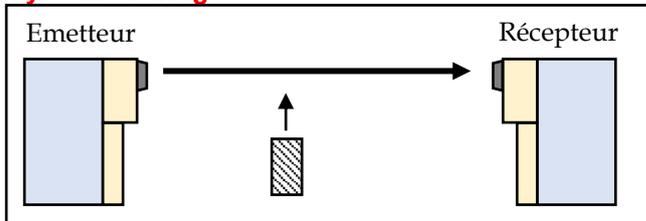
#### Exemples d'utilisation

- Anti-vol (ex : banque).
- Détection de pièces dans les secteurs de la robotique.
- Détection de personnes, de véhicules ou d'animaux dans les secteurs des ascenseurs et du bâtiment en général.

#### Symbole

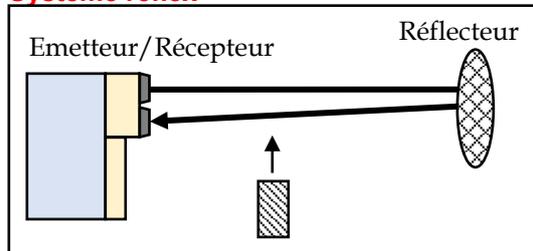


### Système barrage



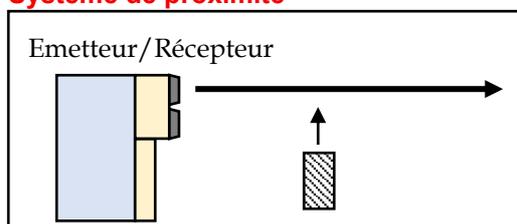
- 2 boîtiers
- Portée : 30 m
- Pour les objets non transparents

### Système reflex



- 1 boîtier (émetteur et récepteur)
- Portée : 15 m
- Pour les objets non transparents et non réfléchissants

### Système de proximité



- 1 boîtier
- Portée : dépend de la couleur de l'objet
- Pour les objets non transparents



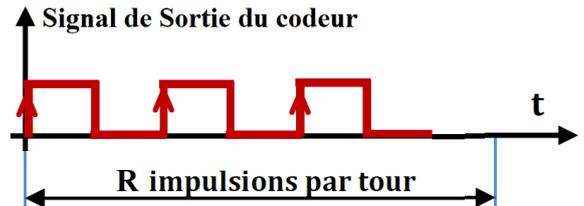
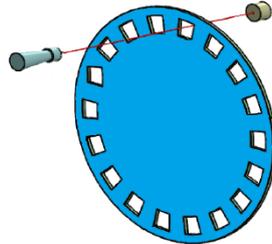
## Capteur numérique (Codeur)

### ⇒ Codeur incrémental

Le codeur incrémental comporte un disque portant une piste divisée régulièrement en secteurs alternativement opaques et transparents.

Autour de la piste, sont installés un émetteur et un récepteur de lumière.

Ce capteur délivre une information électrique sous la forme d'un train d'impulsions. Ces impulsions peuvent renseigner sur la **position**, sur la **vitesse de rotation** et sur le **sens de rotation**.



**Résolution :**

$R = \text{nombre de points/tour}$

**Précision angulaire :**

c'est la plus petite position angulaire détectée ; soit  $\theta = \frac{360^\circ}{R}$

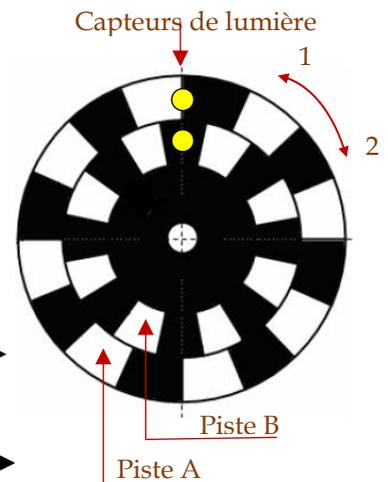
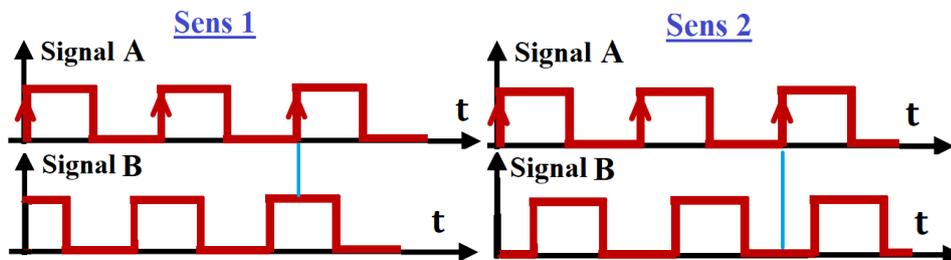
**Vitesse de rotation :**

$N = 60 \cdot \frac{f}{R}$  (N en tr/min ; f : fréquence du signal de sortie du codeur en Hz)

### Détection du sens de rotation

Le codeur est équipé de 2 pistes A et B décalées comme l'indique la figure. Chacune des pistes est dotée d'un capteur de lumière à base d'émetteur-récepteur.

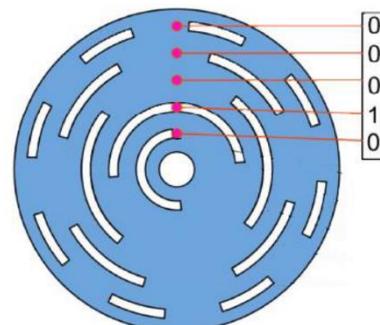
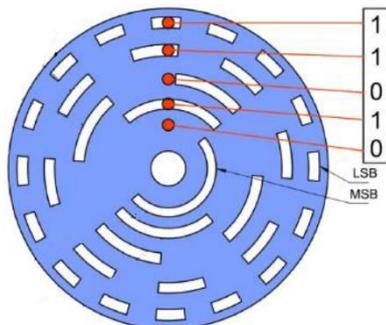
Le déphasage entre les signaux des voies A et B diffère d'un sens à l'autre.



### ⇒ Codeur Absolu

Le codeur absolu est un équipé d'un disque à n pistes codé en Gray ou en binaire naturel.

Il génère un code numérique sur n bits pour chaque position.



**Résolution :**

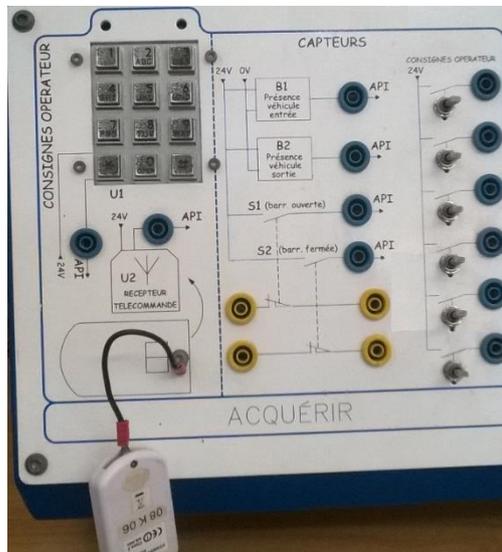
$R = 2^n \text{ positions/tour}$

**Précision angulaire :**

$\theta = \frac{360^\circ}{2^n}$

## Exercice

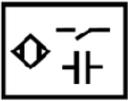
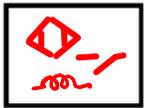
Examiner le système "barrière automatique" et/ou sa documentation technique afin d'énumérer tous les constituants de la fonction Acquérir : capteurs et éléments de consigne.



Capteurs			Éléments de consigne	
Repère	Grandeur physique détectée	Nature de l'information de sortie	Repère	Désignation
B1	Présence	TOR	U1	clavier
B2	Présence	TOR	U2	Télécommande
S1	Position	TOR	-	6 boutons
S2	Position	TOR		

Exercices

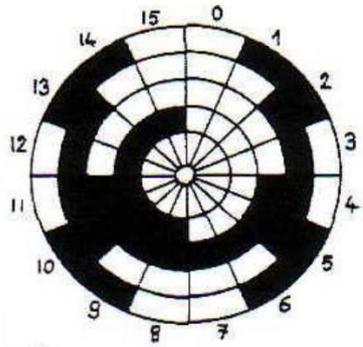
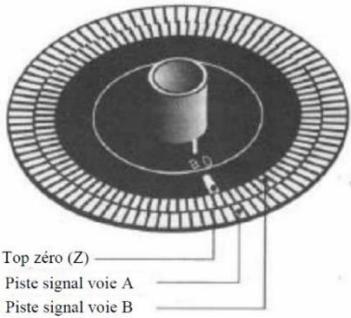
⇒ Compléter l'actigramme/symbole

	<p>Présence → Acquerir la présence → Signal électrique TOR</p> <p>Détecteur photoélectrique</p>
	<p>Présence → Acquerir la présence → Signal électrique TOR</p> <p>Détecteur de proximité capacitif</p>
	<p>Présence → Acquerir la présence → Signal électrique TOR</p> <p>ILS</p>
	<p>Présence → Acquerir la présence → Signal électrique TOR</p> <p>Détecteur de proximité inductif</p>

⇒ Répondre par Oui/Non

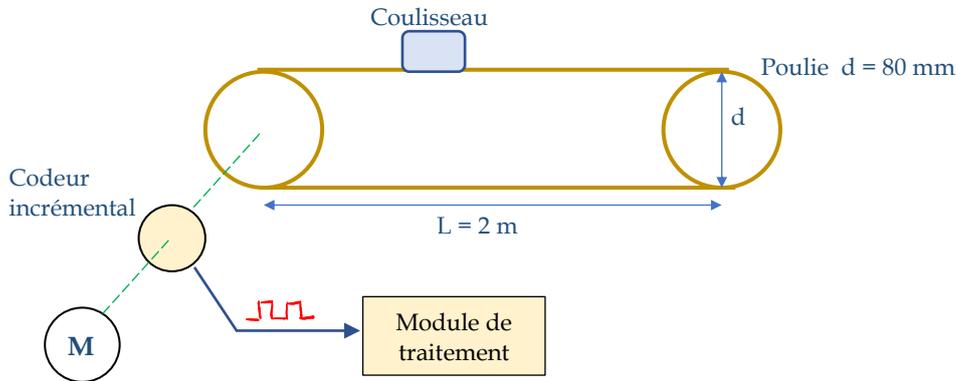
Un détecteur de proximité inductif peut détecter un objet non métallique	Non
Un Interrupteur à Lame Souple (ILS) fonctionne sous la présence d'un champ magnétique	Oui
L'émetteur et le récepteur d'un détecteur photoélectrique de type reflex sont dans le même boîtier	Oui
Un détecteur de proximité photoélectrique de type Barrage peut détecter des objets transparents	Non
Un détecteur de proximité capacitif peut détecter un objet métallique	Oui

⇒ Préciser le type de codeur ; calculer la résolution R et la précision angulaire θ

		
<p>Codeur absolu</p> <p>on compte 10 pistes, donc</p> $R = 2^{10} = 1024 \text{ positions/tr}$ $\theta = \frac{360}{R} = 0,351^\circ$	<p>Codeur absolu</p> <p>on compte 4 pistes, donc</p> $R = 2^4 = 16 \text{ positions/tr}$ $\theta = \frac{360}{R} = 22,5^\circ$	<p>Codeur incrémental</p> <p>on compte <math>R = 90 \text{ pts/tr}</math></p> $\theta = \frac{360}{R} = 4^\circ$



Exercice

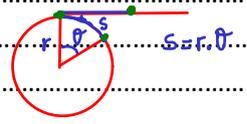


1. Calculer la précision du coulisseau (c'est-à-dire le déplacement qui correspond à une impulsion du codeur) sachant que la résolution du codeur est  $R = 126 \text{ pts/tr}$ .
2. Combien d'impulsions devra-t-on compter pour la course maximale du coulisseau ?
3. Sur combien de bits sera codé, sur le module de traitement, le mot image de la position du coulisseau ?

1. Précision angulaire est  $\theta = \frac{2\pi}{R} = \frac{2\pi}{126} = \frac{\pi}{63} \text{ rad}$ .  
 On sait que  $s = r \cdot \theta$   
 La précision linéaire est donc  $d = \frac{D}{2} \cdot \theta = \frac{80}{2} \cdot \frac{\pi}{63} = 2 \text{ mm}$

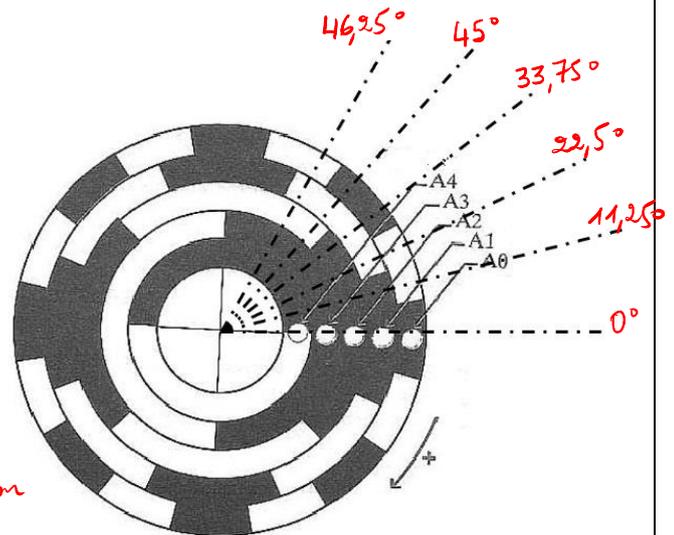
2. La course maxi. est  $L = 2 \text{ m}$  ; le nombre d'impulsions correspondant est  $\frac{L}{d} = \frac{2000}{2} = 1000$  impulsions.

3. Le nombre maxi. d'impulsions à compter est 1000.  
 on a  $2^9 = 512 < 1000 < 2^{10} = 1024$  Donc, il faut 10 bits pour compter 1000 impulsions.



Exercice

- Pour le codeur absolu fourni ci-contre, donner :
- Le type de codage : **Gray (binaire réfléchi)**
  - Le nombre de pistes : **5**
  - La résolution (positions possibles) :  **$2^5 = 32$  positions**
  - La précision en degrés (le plus petit angle qui provoque un changement du code de sortie) :  **$\frac{360}{32} = 11,25^\circ$**
  - Ce codeur est utilisé pour détecter la position d'un système vis-écrou, quel est le plus petit déplacement détecté sachant que la vis à un pas de 3 mm .



Le plus petit déplacement détecté est la précision linéaire  $d$ .

(La précision angulaire est  $11,25^\circ$  ; le nombre de tours correspondant est  $n = \frac{1}{32}$  tours)  
 $d = p \cdot n = 3 \times \frac{1}{32} = 0,09375 \text{ mm}$

- Compléter le tableau :

Codeur  $\frac{n \text{ (nbre de tours)}}{\text{Vis-écrou (pas P)}} \rightarrow d = p \cdot n$  (déplacement)

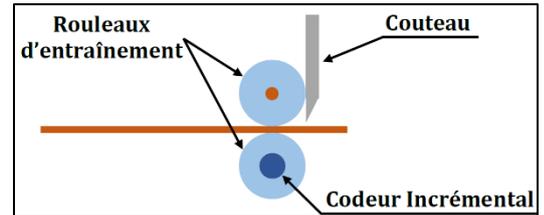
Angle (°)	0	22.5	45	46
Sortie numérique	00000	00011	00110	00110

## Exercice : Machine à couper les câbles

Une machine permet de couper des câbles à une longueur  $L = 3 \text{ m}$  et avec une précision  $p_a = 1 \text{ mm}$ .

Les rouleaux ont un rayon  $r = 50 \text{ mm}$ . Le codeur est placé sur l'axe d'un rouleau et a une résolution  $N_p = 260 \text{ pts/tr}$ .

On suppose que le câble ne glisse pas sur les rouleaux.



1. Quelle est l'utilité du codeur optique dans ce système ?
2. Calculer la précision angulaire  $\theta$  (en  $^\circ$ ) du codeur.
3. En déduire la précision d'avance  $p$  détectée par ce codeur.
4. Ce codeur permet-il de respecter la précision  $p_a$  de la machine ?
5. Quelle est doit être la résolution minimale du codeur pour respecter la précision  $p_a$  ?

Pour la suite, on prendra une résolution de **360 impulsions/tour**.

6. Calculer alors la précision  $p_r$  de ce codeur.
7. Ce codeur permet-il de respecter la précision  $p_a$  de la machine ?
8. Calculer le nombre de tours  $n$  du codeur pour avancer le câble d'une longueur  $L = 3 \text{ m}$ .
9. En déduire le nombre  $n_i$  d'impulsions fournies par ce codeur pour la même longueur  $L$ .

1) C'est un capteur de position permettant, ici, de mesurer la longueur du câble.

$$2) \theta = \frac{360}{N_p} = \frac{360}{260} = 1,3846^\circ$$

$$3) p = r \cdot \theta = 50 \cdot 1,3846 \cdot \frac{\pi}{180} = 1,2 \text{ mm} \quad (\text{ou mieux } p = \frac{\text{périmètre rouleau}}{N_p} = \frac{2\pi r}{N_p} = \frac{2\pi \times 50}{260} = 1,2 \text{ mm})$$

4) Non car  $p = 1,2 \text{ mm} > p_a = 1 \text{ mm}$

5) Il faut que  $p \leq p_a$  avec  $p = r \cdot \theta = r \cdot \frac{360}{N_p} \cdot \frac{\pi}{180}$

donc il faut  $r \cdot \frac{2\pi}{N_p} \leq p_a \Rightarrow N_p \geq \frac{2\pi r}{p_a}$  (tout à fait vraisemblable)

$$\Rightarrow N_p \geq \frac{2\pi \times 50}{1} = 314,16 \text{ pts/tr}$$

Il faut donc au moins une résolution de 315 pts/tr.

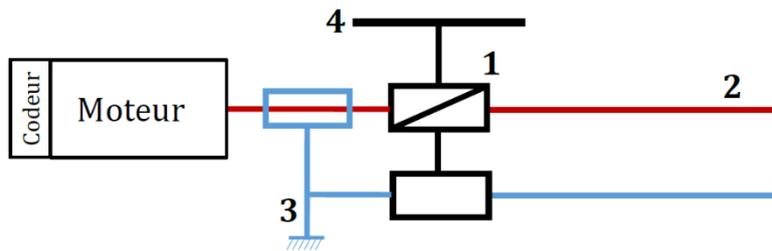
$$6) p_r = \frac{2\pi r}{N_p} = \frac{2\pi \times 50}{360} = 0,8727^\circ$$

7) Oui car  $p_r < p_a = 1 \text{ mm}$  (ou car  $N_p = 360 \text{ pts/tr} > 314,16 \text{ pts/tr}$ )

$$8) n = \frac{L}{2\pi r} = \frac{3 \times 10^3}{2\pi \times 50} = 9,55 \text{ tours}$$

$$9) n_i = N_p \cdot n = 360 \times 9,55 = 3438 \text{ impulsions}$$

## Exercice



On veut commander le déplacement horizontal du chariot **(4)** d'une machine de précision grâce à un système vis à billes **(2)**/écrou **(1)** dont le pas **p** est de **5 mm**. La précision exigée par la CdCF est de **pr = 0,001mm**.

On veut commander et contrôler la position angulaire de la vis grâce à un codeur absolu ayant **12** pistes.

1. Calculer la résolution **Np** du codeur.
2. En déduire la précision angulaire **θ** (en °) du codeur.
3. Calculer la précision de déplacement **p4** du chariot 4.
4. Ce codeur est-il capable de respecter la précision exigée par la CdCF ?

$$1) N_p = 2^{12} = 4096 \text{ positions/tr}$$

$$2) \theta = \frac{360}{4096} = 0,0879^\circ$$

3) La précision de déplacement linéaire est  $p_4 = p \cdot n_2$   
avec  $n_2 =$  nombre de tours de la vis qui correspond à la précision  
angulaire  $\theta$  ; soit  $n_2 = \frac{1}{4096} \text{ tr}$

$$\text{donc } p_4 = 5 \cdot \frac{1}{4096} = 0,00122 \text{ mm}$$

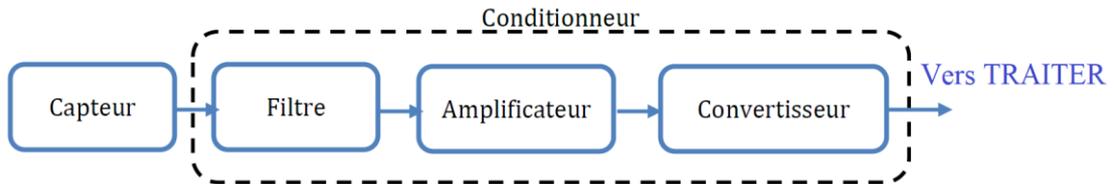
4) Non car  $p_4 > p_r = 0,001 \text{ mm}$ .

La précision obtenue est légèrement insuffisante pour répondre aux exigences du cahier des charges.

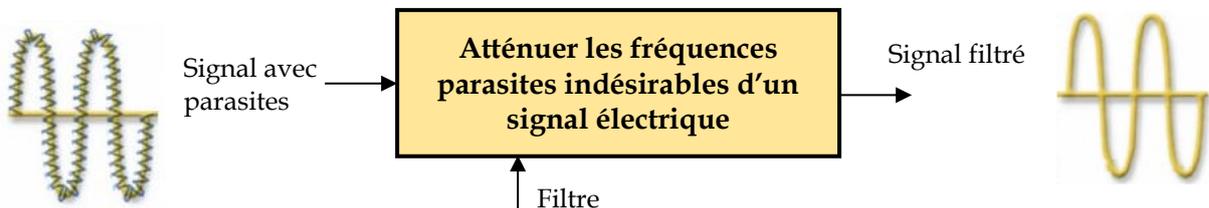
## Conditionnement du signal

Le conditionneur est une interface électronique qui apporte des modifications au signal de sortie d'un capteur afin de l'adapter à l'unité de traitement.

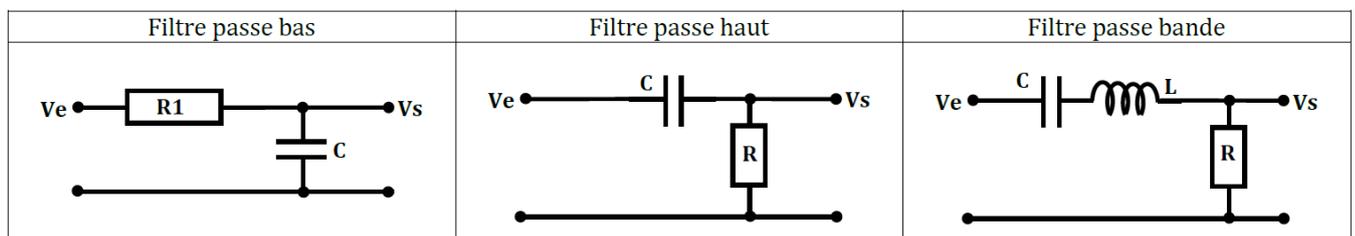
### Exemple de chaîne de conditionnement



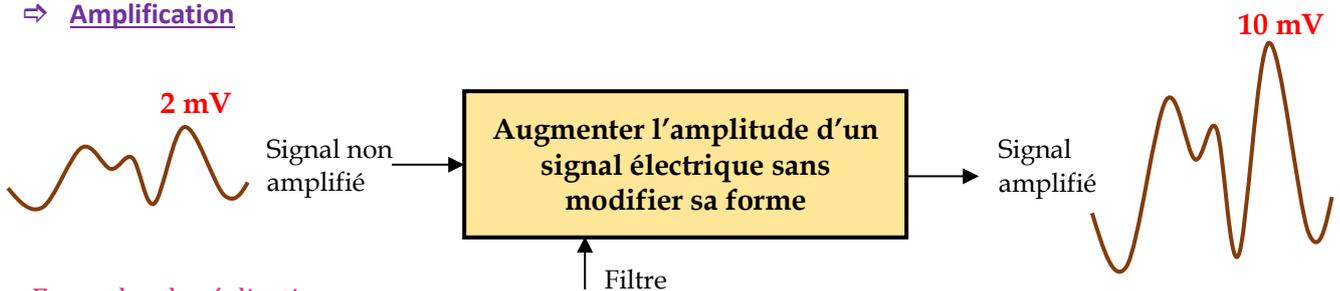
### ⇒ Filtrage



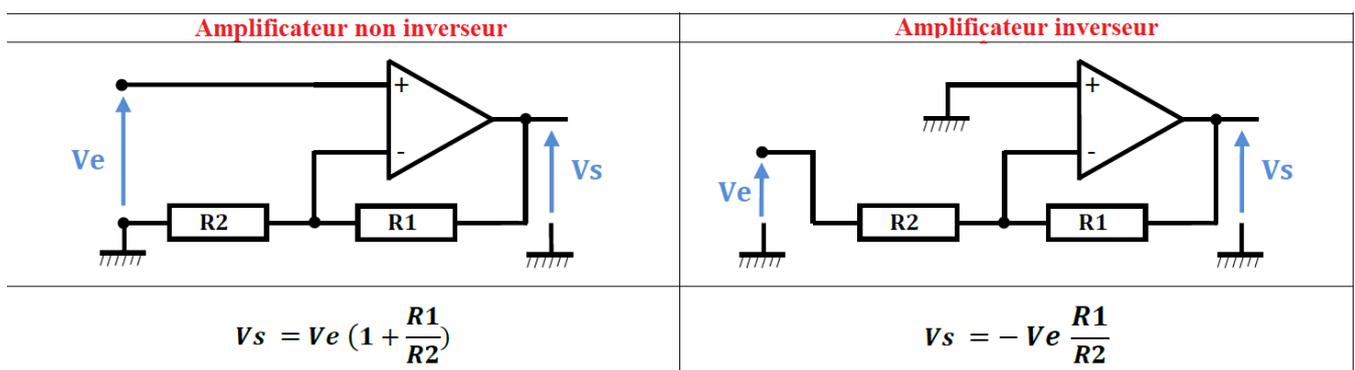
### Exemples de réalisations



### ⇒ Amplification



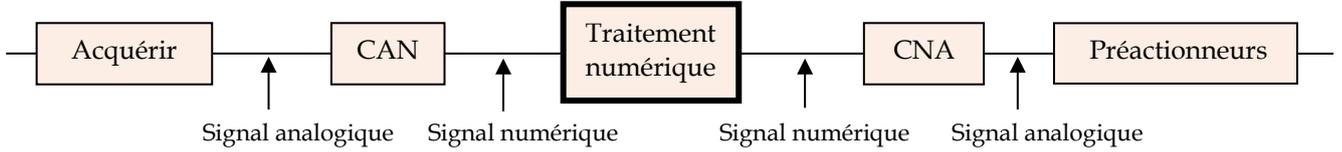
### Exemples de réalisations



⇒ Conversion analogique-numérique et numérique-analogique

De nombreux systèmes utilisent le traitement numérique à base de microprocesseur du fait des avantages qu'il présente.

Lorsque les signaux issus des capteurs sont analogiques ou que les actionneurs doivent être commandés par des signaux analogiques, il est nécessaire de procéder à des conversions.



Convertisseur numérique-analogique CNA	Convertisseur analogique-numérique CAN
<p><u>Symbole</u></p>	<p><u>Symbole</u></p>
<p><u>Quantum</u></p> <p>C'est le pas de progression de Vs suite à une incrémentation de N</p> $q = \frac{V_{ref}}{2^n - 1}$ <p>n : nombre de bits du convertisseur Vref : tension de référence qui délimite la plage de conversion (Vsmax = Vref) Nmax = 2<sup>n</sup> - 1</p>	<p><u>Quantum</u></p> <p>C'est le pas de progression de Ve qui provoque une incrémentation de N</p> $q = \frac{V_{ref}}{2^n}$
<p><u>Fonction de transfert</u></p> $V_s = q \cdot N$	<p><u>Fonction de transfert</u></p> $V_e = q \cdot N$
<p><u>Exemple de réalisation (CNA à résistances pondérées 4 bits)</u></p>	<p><u>Exemple de réalisation (CAN flash à 3 bits)</u></p>

## Exercices

⇒ On applique  $V_{ref} = 8V$  à un CNA à 8 bits. Calculer  $V_s$  pour  $N = 10010111$ ,  $00100100$  et  $11111111$ .

$$\text{quantum } q = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{8}{2^8 - 1} = \frac{8}{255} V$$

$$N = (10010111)_2 = 2^0 + 2^1 + 2^2 + 2^4 + 2^7 = (151)_{10} ; V_s = q \cdot N = \frac{8}{255} \cdot 151 = 4,737 V$$

$$N = (00100100)_2 = (36)_{10} ; V_s = \frac{8}{255} \cdot 36 = 1,129 V$$

$$N = (11111111)_2 = N_{max} \text{ donc } V_s = V_{smax} = V_{ref} = 8 V$$

La conversion entre bases de numération sera abordée ultérieurement dans "la fonction TRAITER".

⇒ Quelle est la pleine échelle (ou tension de référence) d'un CNA qui fournit  $v_s = 1V$  pour  $N = 00010111$  ?

$$q = \frac{V_s}{N} = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \text{ donc } V_{ref} = V_s \cdot \frac{2^n - 1}{N}$$

$$V_{ref} = 1 \cdot \frac{2^8 - 1}{23} = 11,087 V$$

⇒ Le microcontrôleur PIC 16F877 est doté d'un CAN qui permet de traiter des informations analogiques.

Ce CAN a une résolution de 10 bits et une tension de référence de 5V

Calculer le quantum de ce convertisseur

$$q = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} V$$

Compléter le tableau où, pour diverses valeurs de  $v_e$ , trouver la sortie  $N$  en décimal et en binaire

ve(V)	N décimal	N binaire									
		512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
1	204,8 → 205	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
2	409,6 → 410	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
3	614,4 → 614	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
4	819,2 → 819	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
5	1024 → 1023	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

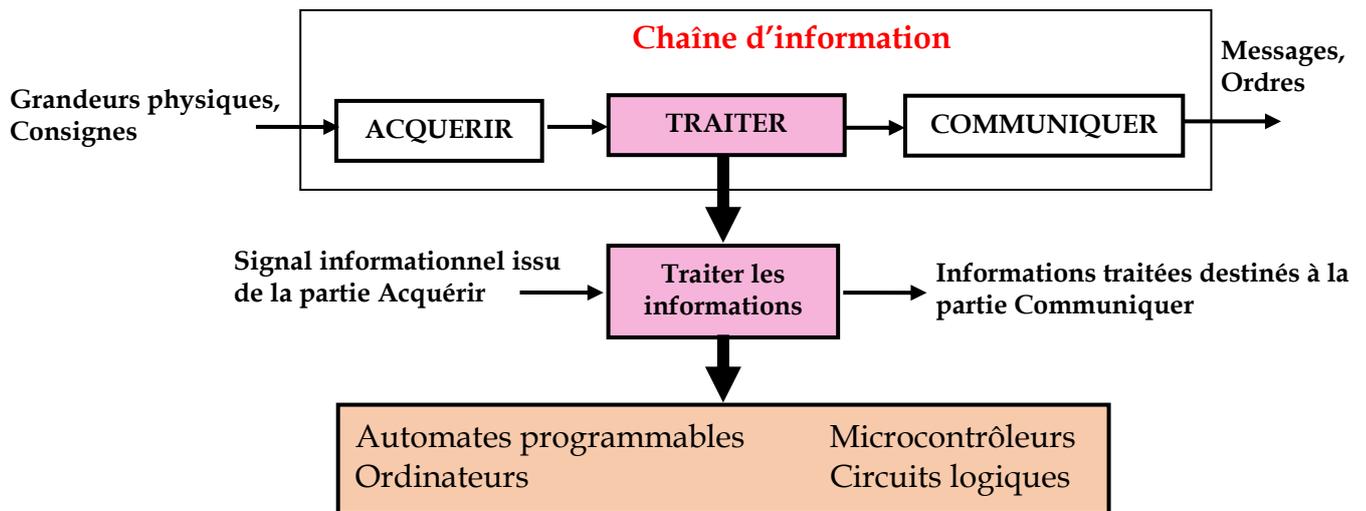
(pleine échelle)

$$N = \frac{V_e}{q} = V_e \cdot \frac{1024}{5}$$

## Fonction Traiter

Dans un système automatisé, le traitement des informations et la gestion du fonctionnement nécessitent des organes de commande dotée d'une certaine intelligence, allant du simple circuit logique combinatoire jusqu'au microordinateur sophistiqué.

La position de la fonction Traiter dans une chaîne d'information, ainsi que les différentes réalisations sont représentées par la figure suivante :



## Technologies de réalisation

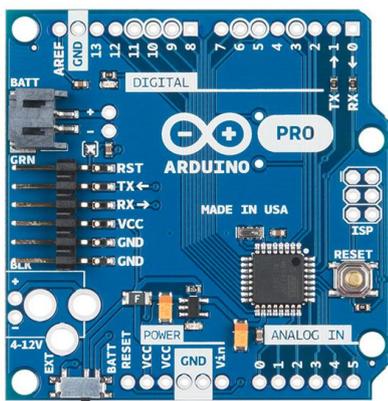
### Unité de traitement câblée

Ce type de traitement est réalisé par des composants électriques, électroniques ou pneumatiques (portes logiques, relais. ...). Le traitement est figé et donc réservé aux systèmes simples.

### Unité de traitement programmée

Ce type de traitement est réalisé par des systèmes à microprocesseur (carte à microprocesseur, microcontrôleur, automate programmable industriel API, ordinateur ...).

Ce type de traitement est réservé aux systèmes de traitements complexes avec possibilité d'évolution.



*Carte Arduino*



*Automate programmable*

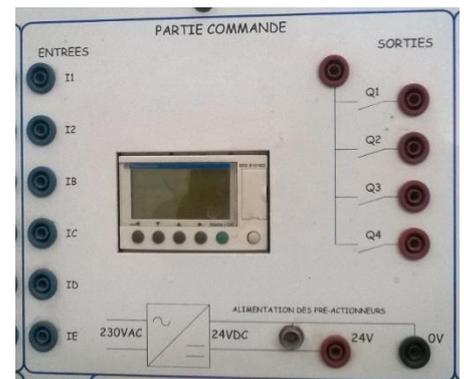


*Ordinateur*

Cas du système "barrière de parking automatique"

La partie Traiter peut-être :

- Réalisée par un câblage selon un montage répondant à la fonction souhaitée : traitement câblé.
- Ou confiée à l'automate programmable embarqué SR3B101BD de Zélio : traitement programmé.

Exercice

Examiner le système "store automatique" et/ou sa documentation technique afin de citer les différentes solutions technologiques utilisées pour le traitement des informations.

Unités de traitement	
Désignation	Traitement câblé/programmé
Carte à traitement combinatoire (préinstallée)	Câblé
Carte à microcontrôleur PIC (supplémentaire)	Programmé
Automate Zélio (supplémentaire)	Programmé

Les systèmes de numérationLes bases de numération

La base d'un système de numération est le nombre de chiffres différents qu'utilise ce système. En électronique numérique, les systèmes les plus utilisés sont : le système décimal, le système binaire et le système hexadécimal.

Dans une base B, il y a B symboles différents, appelés **DIGITS**.

Tout nombre N exprimé dans une base B s'écrit :  $N = (a_n a_{n-1} \dots a_2 a_1 a_0)_B$ .

Système	Base B	Digits	Exemple de valeurs
Décimal	10	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	$(5034)_{10}$
Binaire	2	0, 1	$(1000110)_2$
Hexadécimal	16	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F	$(4A21FC)_{16}$
Octal	8	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	$(347)_8$

Le système binaire a pour base  $B = 2$  et utilise les deux digits 0 et 1 appelés aussi **BITS** (binary digits).

Exemple d'un mot de 8 bits : 1 0 0 1 1 1 0 0



On appelle **LSB** (Least Significant Bit) le bit de poids le plus faible.

On appelle **MSB** (Most Significant Bit) le bit de poids le plus fort.

Conversion entre basesConversion des bases 2 et 16 à la base 10

On utilise la forme polynomiale des nombres à convertir.

$$\text{Si } N = (a_n a_{n-1} a_{n-2} \dots a_2 a_1 a_0)_B$$

$$\text{Alors, en décimal, } N = a_n \cdot B^n + a_{n-1} \cdot B^{n-1} + \dots + a_1 \cdot B^1 + a_0 \cdot B^0$$

Exemples  $(100110)_2$        $(A3C5)_{16}$

$$\begin{aligned} * (100110)_2 &= 0 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^5 \\ &= 2^1 + 2^2 + 2^5 \\ &= 2 + 4 + 32 = (38)_{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * (A3C5)_{16} &= 5 \times 16^0 + 12 \times 16^1 + 3 \times 16^2 + 10 \times 16^3 \\ &= (41925)_{10} \end{aligned}$$

Conversion de la base 10 aux bases 2 et 16

La méthode consiste en des divisions successives du nombre  $(N)_{10}$  par 2 ou par 16, jusqu'à obtenir un quotient nul. Les restes des divisions successives, écrits dans l'ordre inverse, constituent le nombre recherché.

Exemples  $(35)_{10}$        $(950)_{10}$

$$\begin{array}{r} * 35 \mid 2 \\ 1 \mid 17 \mid 2 \\ \quad 1 \mid 8 \mid 2 \\ \quad \quad 0 \mid 4 \mid 2 \\ \quad \quad \quad 0 \mid 2 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad 1 \mid 1 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 1 \mid 0 \end{array}$$

$$\text{donc } (35)_{10} = (100011)_2$$

$$\begin{array}{r} * 35 \mid 16 \\ 3 \mid 2 \mid 16 \\ \quad 2 \mid 0 \end{array}$$

$$(35)_{10} = (23)_{16}$$

$$\begin{array}{r} * 950 \mid 2 \\ 0 \mid 475 \mid 2 \\ \quad 1 \mid 237 \mid 2 \\ \quad \quad 1 \mid 118 \mid 2 \\ \quad \quad \quad 0 \mid 59 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad 1 \mid 29 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad 1 \mid 14 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad 0 \mid 7 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 \mid 3 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 \mid 1 \mid 2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad 1 \mid 0 \end{array}$$

$$(950)_{10} = (1110110110)_2$$

$$\begin{array}{r} * 950 \mid 16 \\ 6 \mid 59 \mid 16 \\ \quad 11 \mid 3 \mid 16 \\ \quad \quad 3 \mid 0 \end{array}$$

$$(950)_{10} = (386)_{16}$$

Correspondance entre base 2 et base 16

Un chiffre hexadécimal correspond à 4 chiffres binaires

- Le passage de la base 16 à la base 2 s'obtient en remplaçant chaque chiffre hexadécimal en sa représentation binaire.
- Le passage de la base 2 à la base 16 consiste à regrouper par 4 les chiffres binaires en commençant de la droite.

**Exemples**  $(11100110)_2$        $(100010110)_2$        $(C85)_{16}$        $(3A07)_{16}$

$$\cdot (\overbrace{1110} \overbrace{0110})_2 = (E6)_{16}$$

$$\cdot (\overbrace{1000} \overbrace{1101} \overbrace{110})_2 = (236)_{16}$$

$$\cdot (C85)_{16} = (1100 \ 1000 \ 0101)_2$$

$$\cdot (3A07)_{16} = (11 \ 1010 \ 0000 \ 0111)_2$$

Codage binaire des nombres entiers

Il existe plusieurs codes binaires pour représenter les entiers. Chaque code possède des propriétés et a des utilisations spécifiques.

**Binaire naturel** : c'est l'écriture même de l'entier à coder en binaire.

**Binaire réfléchi (ou GRAY)** : dans lequel un seul bit change d'état au passage d'un nombre au suivant.

**BCD (Binary Coded Decimal)** : chaque digit du nombre décimal est représenté par son équivalent binaire.

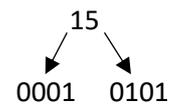
Table de codage jusqu'à l'entier 15

Nombre décimal	Binaire naturel	Gray	BCD
0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 0 0 1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 1	0 0 1 0
3	0 0 1 1	0 0 1 0	0 0 1 1
4	0 1 0 0	0 1 1 0	0 1 0 0
5	0 1 0 1	0 1 1 1	0 1 0 1
6	0 1 1 0	0 1 0 1	0 1 1 0
7	0 1 1 1	0 1 0 0	0 1 1 1
8	1 0 0 0	1 1 0 0	1 0 0 0
9	1 0 0 1	1 1 0 1	1 0 0 1
10	1 0 1 0	1 1 1 1	
11	1 0 1 1	1 1 1 0	
12	1 1 0 0	1 0 1 0	
13	1 1 0 1	1 0 1 1	
14	1 1 1 0	1 0 0 1	
15	1 1 1 1	1 0 0 0	

Exemples :

$(15)_{10} = 1111$  en binaire naturel  
 $= 1000$  en binaire réfléchi  
 $= 10101$  en BCD

En effet, pour le BCD,



## CIRCUITS LOGIQUES - ALGÈBRE DE BOOLE

De nombreux dispositifs ont seulement deux états de fonctionnement. Par exemple, un interrupteur peut être ouvert ou fermé, une lampe peut être allumée ou éteinte. On associe à des objets de ce type, des variables dites **logiques**, ou variables **booléennes** ou encore variables **binaires**. On convient de noter les deux états **0** et **1**.

Les circuits qui utilisent des variables booléennes sont dits circuits logiques.

L'algèbre de Boole est l'outil mathématique pour étudier les circuits logiques.

### Fonctions logiques de base

Une fonction logique est l'expression de la sortie d'un circuit logique en fonction de ses entrées ; elle peut être représenté par :

- Une expression booléenne ;
- Une table de vérité ;
- Un schéma électronique à portes logiques (logigramme) ou un schéma électrique à contacts ;
- Des chronogrammes.

Opérateur et table de vérité	Symbole électronique européen	Symbole électronique américain	Schéma électrique	Chronogramme															
<b>OUI</b> $S = a$ <table border="1"> <tr><td>a</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	S	0	0	1	1													
a	S																		
0	0																		
1	1																		
<b>NON</b> $S = \bar{a}$ <table border="1"> <tr><td>a</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	S	0	1	1	0													
a	S																		
0	1																		
1	0																		
<b>OU</b> $S = a + b$ <table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1				
a	b	S																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
<b>ET</b> $S = a \cdot b$ <table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1				
a	b	S																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
<b>NOR (Not OR)</b> $S = \overline{a + b}$ <table border="1"> <tr><td>a</td><td>b</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0				
a	b	S																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

NAND (Not AND)																			
<table border="1"> <tr><th>a</th><th>b</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0				
a	b	S																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
<p><b>XOR (OU Exclusif)</b> <math>S = a \oplus b</math> <math>S = \bar{a} \cdot b + a \cdot \bar{b}</math></p> <table border="1"> <tr><th>a</th><th>b</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	a	b	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0				
a	b	S																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	

⇒ Exercice

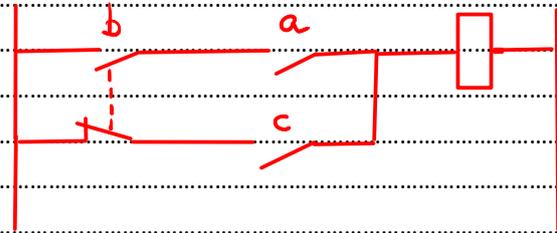
Soit la fonction logique  $f = ab + \bar{b}c$

Donner sa TV, son logigramme (schéma à portes logiques) et son schéma électrique à contacts.

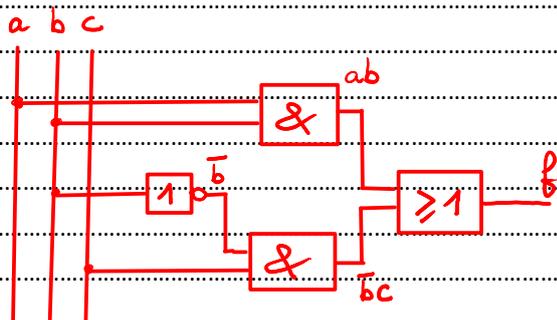
• Table de vérité

a	b	c	$\bar{b}$	ab	$\bar{b}c$	f
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	1

• Schéma à contact



• Logigramme



Lois de l'algèbre binaire

Propriété	Relation logique	
Éléments neutres et éléments absorbants	$A \cdot 0 = 0$ $A \cdot 1 = A$	$A + 0 = A$ $A + 1 = 1$
Idempotence	$A \cdot \bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
Commutativité	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
Distributivité de ET et de OU	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$
Théorème de De Morgan	$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$	$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$
Absorption	$A + AB = A$	$A + \bar{A}B = A + B$

## ⇒ Exercices

- Tirer l'équation logique et la simplifier.

$$* S = ab\bar{c} + ab$$

$$* S = ab\bar{c} + ab \cdot 1$$

$$= ab \cdot (\bar{c} + 1) = ab \cdot 1 = ab$$

- Démontrer les lois de l'absorption.
- Complémenter  $ad + \bar{b}c$  et  $\bar{a} + b(\bar{c} + d)$

$$\bullet \rightarrow a + ab = a(1 + b) = a \cdot 1 = a$$

$$\rightarrow a + \bar{a}b = (a + \bar{a}) \cdot (a + b) \quad (\text{Par distributivité})$$

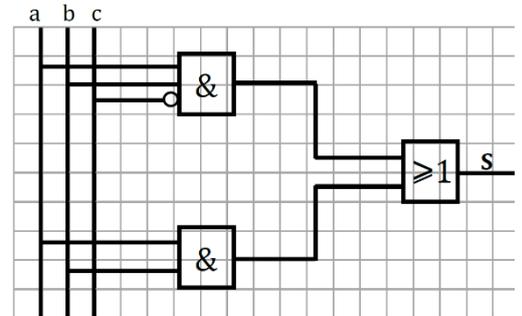
$$= 1 \cdot (a + b) = a + b$$

$$\bullet \rightarrow \overline{ad + \bar{b}c} = \overline{ad} \cdot \overline{\bar{b}c} = (\bar{a} + \bar{d}) \cdot (b + \bar{c})$$

$$\rightarrow \overline{\bar{a} + b(\bar{c} + d)} = a \cdot \overline{b(\bar{c} + d)}$$

$$= a \cdot (\bar{b} + \overline{\bar{c} + d})$$

$$= a \cdot (\bar{b} + cd)$$



### Simplification des fonctions logiques

Le but de la simplification est de parvenir à une écriture abrégée de la fonction. La réalisation matérielle est alors économique puisque le nombre de portes logiques est réduit.

#### Méthode algébrique

Cette méthode utilise les lois de l'algèbre binaire.

#### ⇒ Exercices

Simplifier algébriquement  $f_1 = a + \bar{a}b + \bar{a}\bar{b}$  et  $f_2 = a + b\bar{c} + \bar{a} \cdot \overline{(b\bar{c})} \cdot (ad + b)$

$$\bullet f_1 = a + \bar{a}b + \bar{a}\bar{b} = a + \bar{a}(b + \bar{b}) = a + \bar{a} \cdot 1 = a + \bar{a} = 1$$

$$\bullet f_2 = a + b\bar{c} + \bar{a} \cdot \overline{(b\bar{c})} \cdot (ad + b)$$

$$= \underline{a} + b\bar{c} + \bar{a}(ad + b) \quad (\text{absorption du terme } \overline{(b\bar{c})})$$

$$= a + b\bar{c} + (ad + b) \quad (\text{absorption du terme } \bar{a})$$

$$= \underline{a + ad} + \underline{b\bar{c} + b}$$

$$= a(1 + d) + b(\bar{c} + 1)$$

$$= a + b$$

Méthode de Karnaugh

La simplification graphique par le tableau de Karnaugh d'une fonction logique permet d'obtenir de façon simple et sûre l'expression simplifiée. La démarche est la suivante :

- Dresser un tableau à  $2^n$  cases codé en Gray (qui a comme propriété principale de ne faire varier qu'un seul bit entre deux cases adjacentes).
- Mettre les 1 de la fonction dans les cases correspondantes.
- Grouper tous les 1 par paquets de 2, 4, 8..., le groupement de cases doit être au maximum.
- Chaque groupement élimine les variables qui changent.

## ⇒ Exercices

Simplifier graphiquement :

$$T1 = x y z + x y \bar{z} + \bar{x} y \bar{z} + \bar{x} y z$$

$$T2 = x \bar{y} \bar{z} + x y \bar{z} + x y z$$

$$F = \bar{a} \bar{b} c d + a b c d + a \bar{b} c \bar{d} + \bar{a} b c \bar{d} + a b \bar{c} + a b c \bar{d} + \bar{a} \bar{b} c d + \bar{a} b \bar{c} \bar{d}$$

→ représente par 2 cases

T1

		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	0	1	1
	1	0	0	1	1

T1 = y

T2

		yz			
		00	01	11	10
x	0	0	0	0	0
	1	1	0	1	1

T2 = xy + x $\bar{y}$

F

		cd			
		00	01	11	10
ab	00	0	1	1	0
	01	1	0	0	1
	11	1	1	1	1
	10	0	0	0	1

F = ab + b $\bar{d}$  + a $\bar{b}d$  + ac $\bar{d}$



## ⇒ Exercices

**1. Store automatisé**

Le store automatisé est équipé de deux capteurs, un qui détecte la présence de soleil (Ss), l'autre la présence de vent (Sv).

La toile de store descend (Kd) dès qu'il y a le soleil, le store se baisse automatiquement. Si un seuil de vitesse du vent est atteint, la toile remonte (Km) malgré la présence de soleil.

- Préciser les entrées et les sorties de ce système.
- Etablir la TV, les équations simplifiées des sorties et le logigramme.

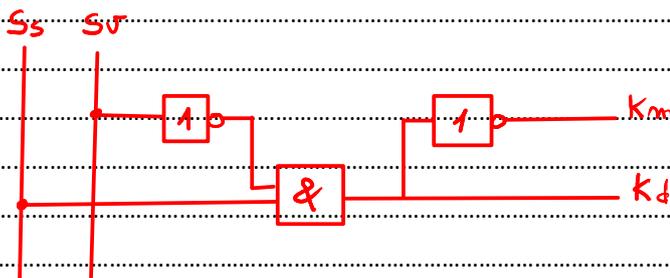
a. Entrées : capteurs Ss et Sv  
Sorties : Kd et Km

b.

Ss	Sv	Kd	Km
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1

$$Kd = Ss \cdot \overline{Sv}$$

$$Km = \overline{Kd}$$



## 2. Barrière automatique didactisée

Pour cette activité, le fonctionnement du système doit être conforme au cahier des charges suivant :

- Si une voiture est présente devant l'une des deux cellules photoélectrique (B1 ou B2), la barrière s'ouvre (KA4) et le voyant H1 s'allume.
- Si deux voitures se présentent simultanément, la barrière se ferme (KA5) et le voyant H2 s'allume.
- De plus, si le parking est complet, le gardien a la possibilité d'actionner le contact S3 pour interdire l'ouverture (On utilisera à cet effet le premier interrupteur de simulation S3).

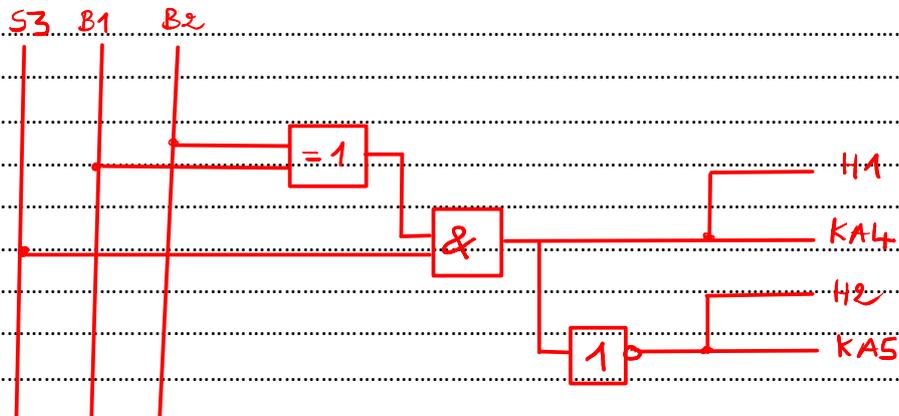
Etablir la TV, les équations simplifiées des sorties et le logigramme.

S3	B1	B2	KA4	KA5	H1	H2
0	0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	0	1

$$KA4 = S3 \cdot B1 \cdot \overline{B2} + S3 \cdot \overline{B1} \cdot B2 = S3 (B1 \oplus B2)$$

$$H1 = KA4$$

$$H2 = KA5 = KA4$$



### 3. Système d'alarme

Dans une maison équipée par un dispositif d'alarme, il y a : un capteur A sur la porte, un capteur B sur la fenêtre et un interrupteur C pour la commande de marche/arrêt de l'alarme.

Le fonctionnement du système Alarme est caractérisé par ce qui suit :

- Si  $C = 0$ , l'alarme est désactivée ;
- Si  $C = 1$ , l'alarme est activée ; si un intrus passe par une fenêtre ( $B = 1$ ) ou par une porte ( $A = 1$ ), une sonnette S est actionnée.

Etablir la TV, les équations simplifiées des sorties et le logigramme.

C	A	B	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

		AB			
		00	01	11	10
C	0	0	0	0	0
	1	0	1	1	1

$$S = CB + CA = C(A+B)$$

Algébriquement,  $S = \bar{C}\bar{A}B + C\bar{A}\bar{B} + CAB = \bar{C}\bar{A}B + CA(\bar{B} + B)$

$$= \bar{C}\bar{A}B + CA = C(A + \bar{A}B)$$

$$= C(A+B) \quad (\text{par absorption})$$



## SYSTEME SEQUENTIEL

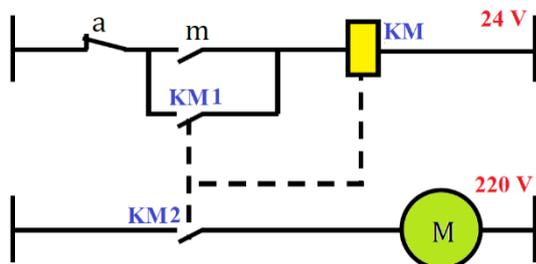
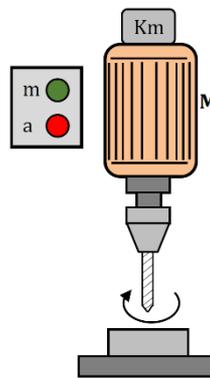
Pour un système séquentiel, les mêmes causes peuvent produire des effets différents

Exemple : bouton marche/arrêt de la télécommande d'un téléviseur.

Ainsi, pour un système séquentiel, l'état de la sortie dépend non seulement de la combinaison appliquée à l'entrée mais aussi de son état précédent. Cet effet de mémorisation est réalisé par des bascules ou des mémoires électromagnétiques.

### Mémorisation électromagnétique (relais)

Exemple : commande d'une perceuse



a	m	KM	M	Etat de sortie
0	0	0	0	Mémorisation de l'arrêt
0	1	1	1	<b>Mise en marche</b>
0	0	1	1	Mémorisation de la marche
1	0	0	0	<b>Mise à l'arrêt</b>

En appuyant sur le bouton **m**, le moteur **M** tourne ; en le relâchant, le moteur continue à tourner.

Ainsi, pour la même combinaison **am = 00**, la sortie peut être **M = 0** ou **M = 1**.

Cette mémorisation est assurée par le relais **KM** et son contact d'auto maintien **KM1**.

### Mémorisation électronique (bascule)

La bascule est un composant, à base de portes logiques, pouvant réalisant l'effet mémoire.

Exemple : bascule JK

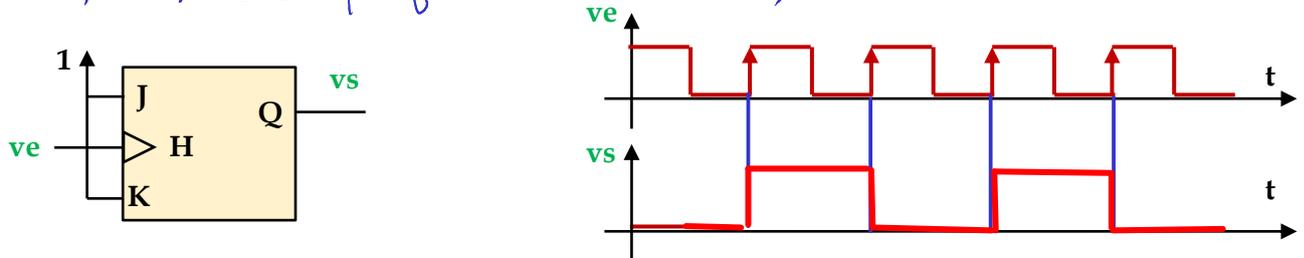
H	J	K	Qn
0	X	X	Qn-1
↑	0	0	Qn-1
↑	0	1	1
↑	1	0	0
↑	1	1	$\overline{Qn-1}$

La bascule est active sur le front montant de H (c'est-à-dire à l'instant de passage de H de 0 à 1).

⇒ Exercices

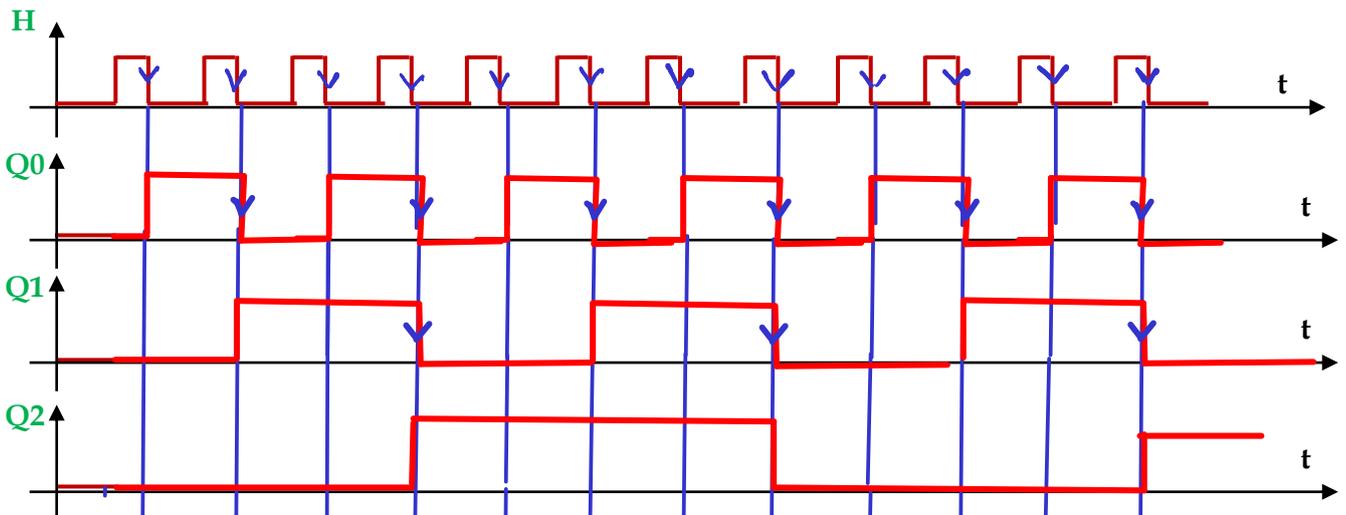
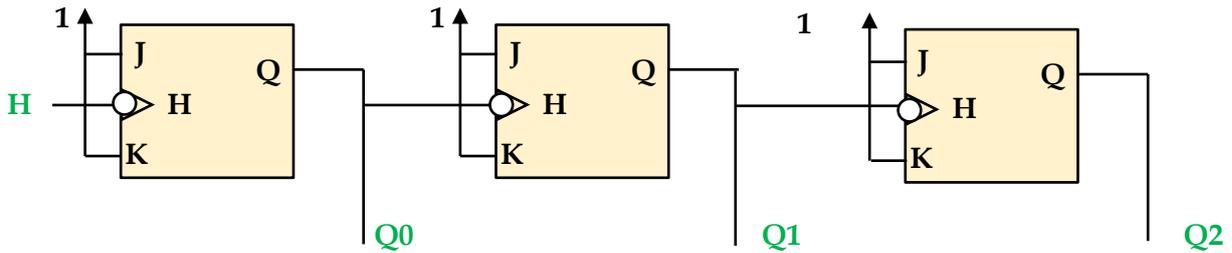
1. Compléter le chronogramme de sortie et déduire la fonction du circuit.

On a, pour  $J=K=1$ ,  $Q_n = \overline{Q_{n-1}}$  à la réception d'un front.  
Donc, ici, à chaque front montant de  $v_e$ , l'état de  $v_s$  est inversé.



Fonction : diviseur de fréquence par 2.

2. Compléter le chronogramme de sortie et déduire la fonction du circuit.



$Q_2, Q_1, Q_0$  000 001 010 011 100 101 110 111 000 001 010 011 100  
en déc. 0 1 2 3 4 5 6 7 0 1 2 3 4 ...

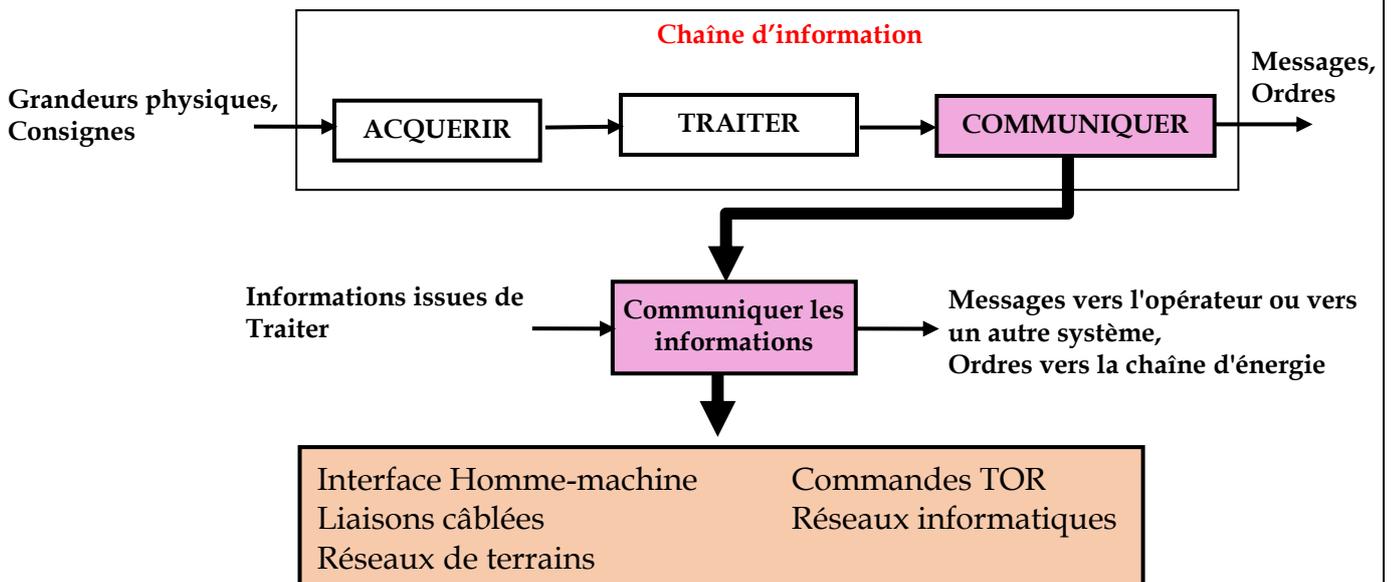
c'est un compteur binaire modulo 8.

## Fonction Communiquer

Un système automatisé gère le processus sans intervention humaine. Pourtant, très souvent, un opérateur surveille son comportement. Donc, en plus des ordres qui commandent la chaîne d'énergie via la fonction Distribuer, un système échange des informations avec l'opérateur.

Les systèmes industriels modernes communiquent aussi entre eux ou avec des systèmes informatiques, ce qui fait appel à des réseaux de communication.

La position de la fonction Communiquer dans une chaîne d'information, ainsi que les différentes réalisations sont représentées par la figure suivante :



## Communication de l'information

### Communication avec l'opérateur

Il s'agit de renseigner l'utilisateur sur l'état du système à l'aide de moyens de signalisation.

#### Exemples

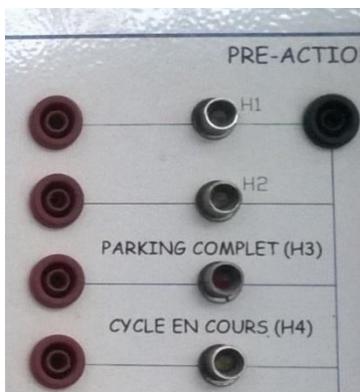
	<i>Constituant de dialogue</i>	<i>Exemples de messages</i>		<i>Constituant de dialogue</i>	<i>Exemples de messages</i>
	Voyant	Mise sous tension, mouvement en cours		Afficheur numérique	Température, nombre de voitures au parking
	Alarme sonore	Défaut, fin de tâche		Ecran tactile	Tâche en cours, fin de tâche, défaut

Cas du système "store automatique"

Le module Soloris Uno propose deux LED rouge et jaune pour renseigner l'utilisateur sur la présence du vent et du soleil.

Exercice

Examiner le système "barrière automatique" et/ou sa documentation technique afin de citer les différents éléments de signalisation.



Quatre voyants lumineux ?

H1, H2, H3 et H4.

Communication avec d'autres systèmes

L'échange d'informations entre systèmes techniques utilise divers types de liaisons :

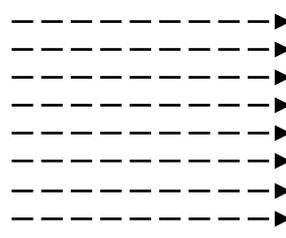
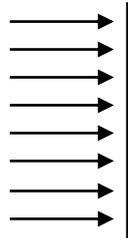
- Électrique (RS232, USB, parallèle...);
- Optique (infrarouge);
- Ou hertzienne c'est-à-dire par ondes radio (Bluetooth, wifi).

Liaison électriqueLiaison parallèle

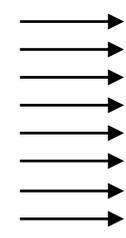
Dans une communication parallèle, plusieurs lignes sont utilisées pour transmettre simultanément des données.



Machine 1

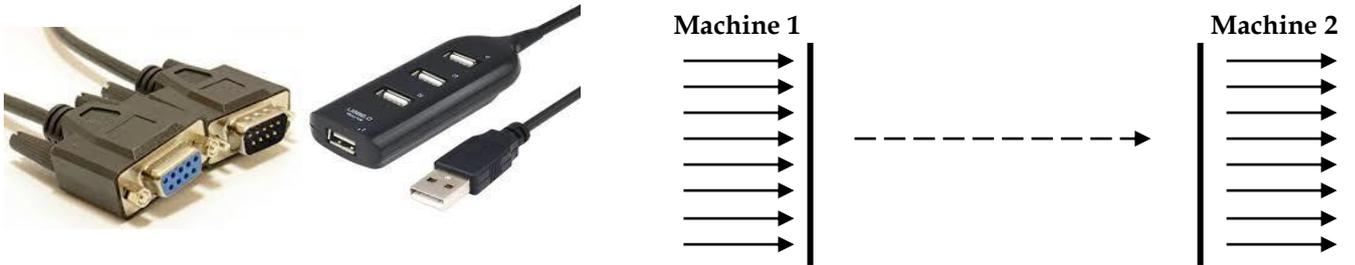


Machine 2



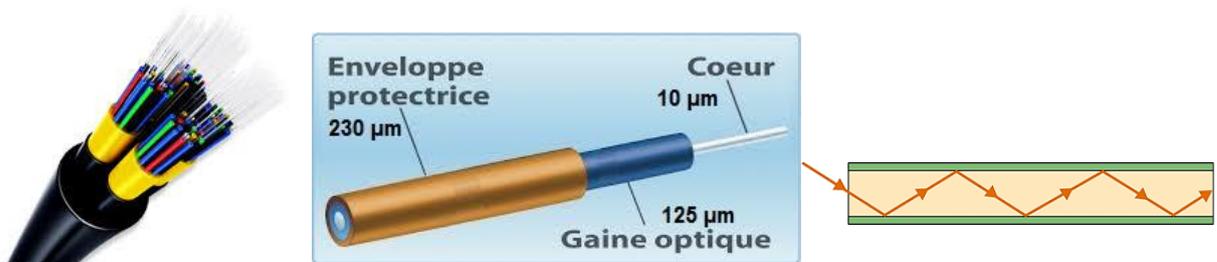
### Liaison série

Dans une communication série, les données sont transmises les unes après les autres sur un seul fil.



### Liaison par fibres optiques

Constituée de faisceaux de fibres de verre parcourus par des signaux lumineux. Elle permet des communications à très longue distance et à très grands débits.



### Liaison sans support matériel

#### Wifi

La communication par Wifi utilise des ondes radioélectriques à la fréquence 2.4 GHz. La portée est de quelques dizaines de mètres (30 m à 50 m).



#### Bluetooth

Le Bluetooth utilise une liaison par ondes radioélectriques sur la bande de fréquence 2.45 GHz. La portée est faible, quelques mètres seulement.



#### Infrarouge (IrDa)

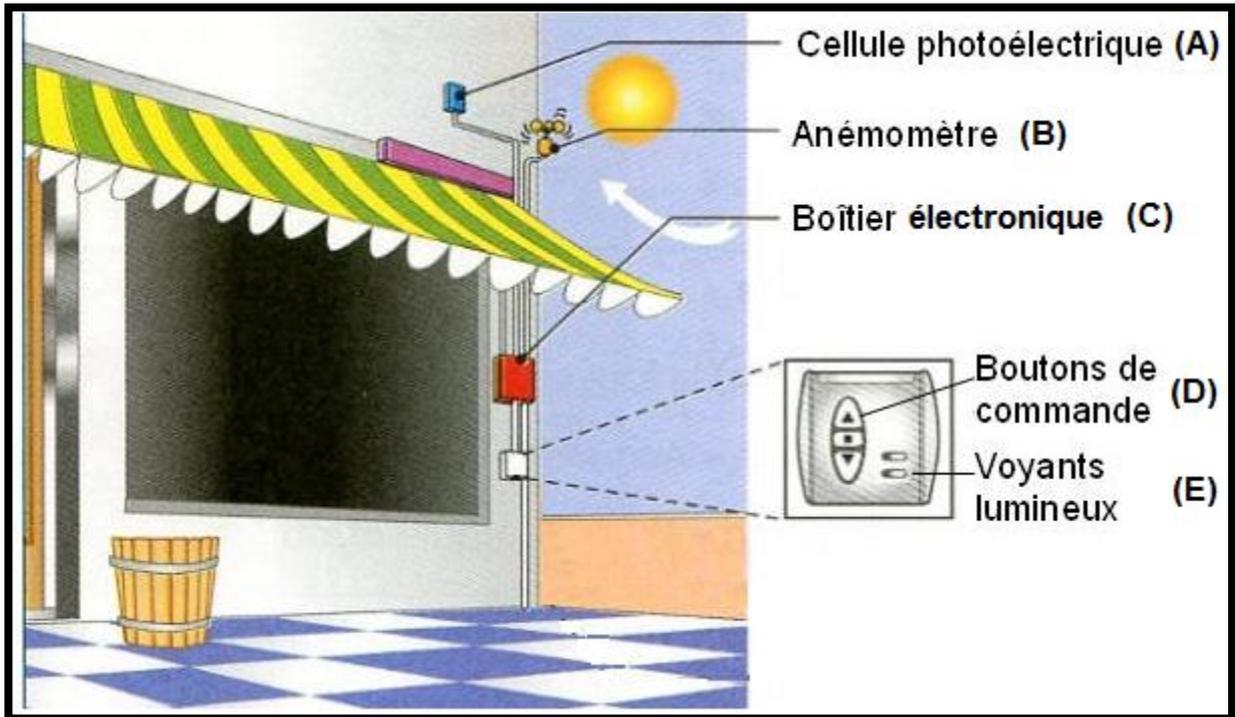
Communication utilisant la lumière infrarouge sur une courte distance (10 m environ) sans obstacle.



## Exercices

1. Store automatique

- a. Associer chaque élément du store de la figure suivante à une fonction de la chaîne d'information : Acquérir, Traiter ou Communiquer .



Acquérir : A, B, D  
 Traiter : C  
 Communiquer : E

- b. Faire correspondre à chaque numéro l'une des propositions.



- P1 : informations exploitables par le système de traitement.  
 P2 : ordres d'exécuter la descente ou la montée du store.  
 P3 : informations traitées et prêtes à être communiquées.  
 P4 : voyants de fonctionnement.  
 P5 : vitesse du vent et luminosité.  
 P6 : position du store (en haut, en bas).

P1 → 3      P4 → 5  
 P2 → 6      P5 → 1  
 P3 → 4      P6 → 2

**2. Système d'alarme anti-incendie**

- ① Avertir manuellement de la présence de fumée.
- ② Traiter l'information comme étant source de danger.
- ③ Avertir les personnes du danger par alarme sonore.
- ④ Avertir également les personnes par signaux lumineux.
- ⑤ Contacter le centre de lutte anti-incendie le plus proche.
- ⑥ Avertir automatiquement de la présence de fumée.

		
Sirène	Détecteur de fumée	Avertisseur lumineux
		
Déclencheur manuel	Centre de contrôle programmable	Carte pour transmission téléphonique

a. Associer chaque composant à la fonction qu'il réalise .

① → D  
 ② → E  
 ③ → A

④ → C  
 ⑤ → F  
 ⑥ → B

b. Indiquer sous chaque bloc le composant qui réalise la fonction indiquée.

