

# CONCEPTION MODULAIRE

## DES MECANISMES

La méthode proposée, partant du **schéma de principe**, conduit à un **schéma d'architecture**, étape préalable à la conception du dessin d'ensemble du produit. Ce schéma plus élaboré et plus détaillé que le schéma de principe va permettre d'appréhender plus aisément des problèmes tels que:

- le **montage et le démontage** des différents organes mécaniques,
- la **conception et la fabrication simplifiées** des pièces moulées et tirées dans la barre,
- la **modularité** et l'**interchangeabilité** des pièces et sous-ensembles,
- la **standardisation** des éléments d'une même gamme de produits.

Cette analyse préalable va transformer le problème complexe de la conception d'un mécanisme en une somme de problèmes plus simples.

### 1. Du schéma de principe au schéma d'architecture

#### 1.1. Exemple

L'exemple traité est la pompe MP. Le schéma de principe ou ici cinématique minimal de la figure 1 fait apparaître les liaisons et pièces suivantes :

- l'arbre d'entrée (2) en liaison pivot avec le carter (1),
- un piston (3) en liaison pivot glissant avec le carter (1.). La partie excentrée de l'arbre d'entrée (2) produit, par l'intermédiaire d'une liaison linéaire rectiligne, un mouvement de translation alternative du piston (3). Un ressort de rappel (4) assure le rappel de ce dernier et donc le maintien du contact dans la liaison entre piston et excentrique.

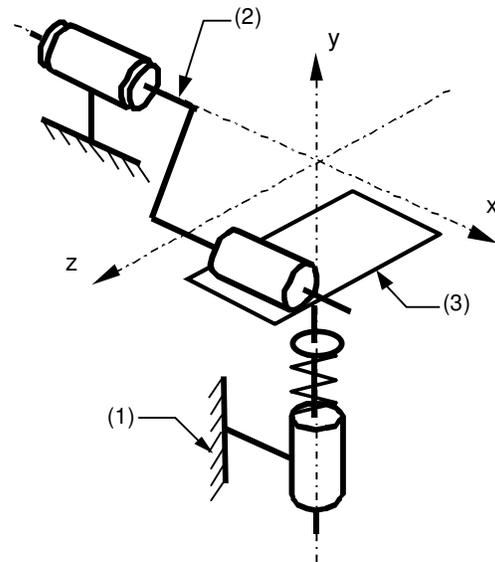


Figure 1. Schéma de principe de la pompe MP

Ce schéma permet de dégager **3 classes d'équivalences principales** (ensemble de pièces en liaison complète et de même cinématique) :

- le carter (1),
- l'arbre (2),
- le piston (3).

Le ressort (4) reste un composant secondaire dans le propos qui suit.

#### 1.2. Le principe de base

Le but annoncé en préambule est d'arriver à une conception et une fabrication plus simples et plus rationnelles d'un ensemble mécanique en passant par l'étape intermédiaire du schéma d'architecture.

**Le principe de base est qu'il faut éclater la classe d'équivalence relative au carter en plusieurs sous-ensembles élémentaires associés aux liaisons.**

Le carter réalise en effet plusieurs fonctions très diverses qui ont chacune leurs spécificités et vouloir en faire une pièce monobloc relève de la gageure tant d'un point de vue montage que fabrication (moulage et usinage).

*Remarque:* Les autres pièces seront probablement constituées aussi de plusieurs parties. Ce sera le cas de l'arbre qui, comme il a été vu au premier chapitre, était constitué d'une partie excentrée et d'un roulement rapportés. Mais, comme nous allons le montrer ici, leur problème de conception est celui de sous-ensembles que l'on peut traiter séparément.

### 1.3. La méthode

#### 1.3.1. Liaisons, fonctions et sous-ensembles associés

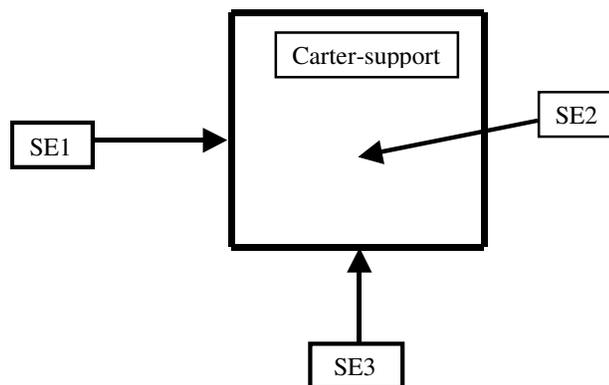
La première étape est de répertorier les diverses liaisons de ce mécanisme, de leur associer un sous-ensemble tout en caractérisant leur fonction dominante.

Liaisons	Pièces concernées	Fonction dominante	Sous-ensembles
Pivot L2/1	Arbre (2) <b>Carter (1)</b>	Guidage sous charge	SE1
Linéaire rectiligne L2/3	Arbre (2) Piston (3)	Transmission d'efforts	SE2
Pivot glissant L3/1	Piston (2) <b>Carter (1)</b>	Guidage Etanchéité	SE3

On note que le carter est concerné par les sous-ensembles SE1 et SE3 qui ont chacun des fonctions à remplir très différentes.

#### 1.3.2. La fonction support du carter

La seconde étape est l'éclatement de la classe d'équivalence - carter en considérant que les **sous-ensembles** qui le concernent sont **rapportés sur le carter** proprement dit, pièce qui n'a plus qu'une **fonction de support**. Ici les liaisons L2/1 et L3/1, associées aux sous-ensembles SE1 et SE3, deviennent des **sous-ensembles rapportés sur le carter** (Figure 2).



**Figure 2. Eclatement de la classe d'équivalence - carter**

Ceci est donc une manière de diviser le problème complexe de la conception et de la fabrication du carter en trois problèmes simples :

- la conception de la liaison pivot d'entrée dominée par le montage de roulements,

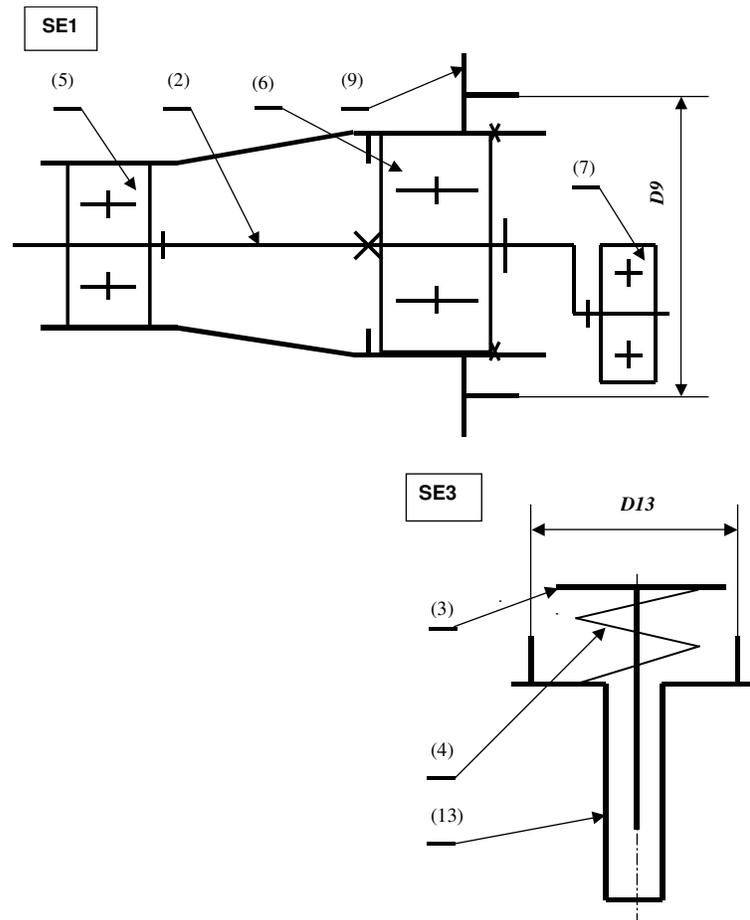
- la conception de la liaison pivot glissant du piston et du cylindre, dominée par le problème de l'étanchéité et de la précision des usinages,
- la conception du carter proprement dit qui devient essentiellement un problème de moulage et d'usinages a priori plus simples.

*Remarque* : Le sous-ensemble SE2 est interne et ne concerne pas directement les surfaces fonctionnelles du carter mais il a évidemment une influence tant au niveau du montage de l'ensemble que des volumes car des sous-ensembles de ce type sont mobiles à l'intérieur du mécanisme et influent donc sur les espaces à réserver pour leur évolution.

### 1.3.3. Schémas technologiques des sous-ensembles

La figure 2 offre une vision globale du mécanisme après la partition du carter (1) du schéma de principe en trois éléments distincts. La troisième étape est de concevoir séparément les deux sous-ensembles SE1 et SE3. La figure 3 propose des schémas technologiques possibles pour ces deux sous-ensembles :

- SE1 fut l'objet du premier chapitre et nous n'y revenons pas. Seul le diamètre d'emboîtement dans le carter-support doit être suffisant pour permettre le passage du sous-ensemble monté (diamètre  $D_9$ ). C'est une contrainte dont on peut tenir compte dès la schématisation.
- SE3 est élémentaire, le piston (3) est une pièce tirée dans la barre et le cylindre (13) est une pièce moulée, de révolution. De même, seul le diamètre d'emboîtement dans le carter-support doit être suffisant pour permettre le passage du sous-ensemble monté (diamètre  $D_{13}$ ).

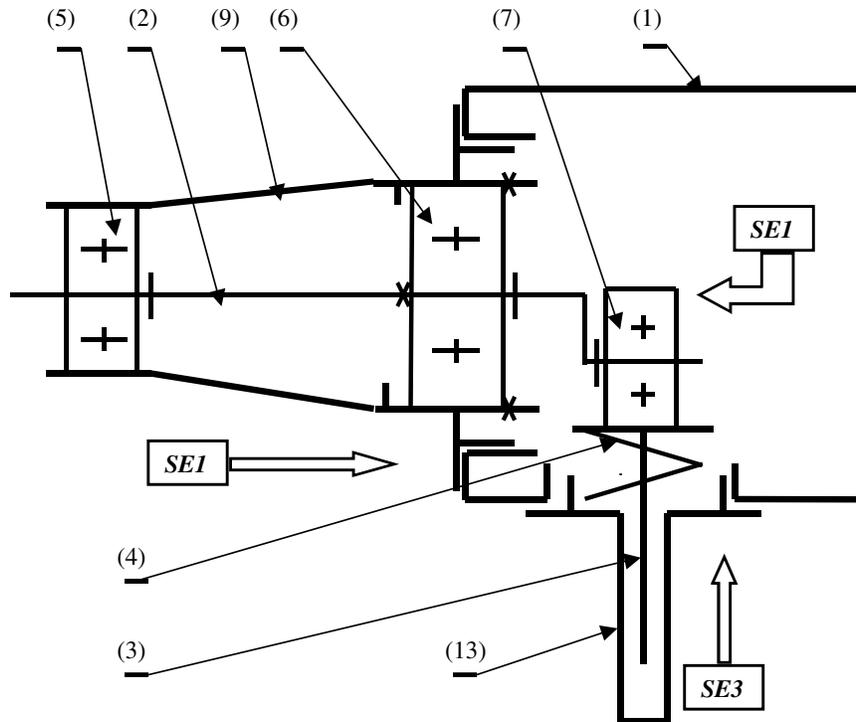


**Figure 3. Les sous-ensembles SE1 et SE3**

### 1.3.4. Schéma technologique du mécanisme complet

La quatrième étape est l'assemblage des divers sous-ensembles et la proposition d'un schéma d'architecture de l'ensemble monté. Il est clair qu'à ce niveau le critère principal est le **montage**. La figure 4 montre un exemple de schéma technologique qui découle

naturellement de l'assemblage des schémas technologiques précédents et selon des directions et sens de montages largement suggérés par la figure 2.



**Figure 4. Schéma d'architecture partiel de l'ensemble monté**

La méthode montre en particulier que le montage de l'ensemble est plus aisé à appréhender et que chaque sous-ensemble, SE1 et SE3 ici, a son propre problème de montage que l'on résout de manière relativement indépendante. L'étude du sous-ensemble SE1 associé à la liaison pivot d'entrée et réalisée au chapitre 1 en est une illustration. Le lecteur pourra se lancer dans l'étude de conception d'un carter monobloc en veillant aux possibilités de montage et démontage, aux possibilités d'usinage des diverses surfaces fonctionnelles pour s'apercevoir que le problème est ardu et n'offre pas de solutions satisfaisantes tant d'un point de vue constructif que d'usinage. La conception modulaire telle qu'elle est présentée ici offre de singuliers avantages ne serait-ce que sous les deux aspects **montage** et **usinage**.

## **2. avantages de la modularité de l'ensemble mécanique**

### **2.1. Etudes de conception différenciées**

Comme il a été montré précédemment, l'étude de conception d'un sous-ensemble est relativement indépendante de celle en particulier du carter-support. Seules les surfaces de liaison sont leurs éléments communs. Le montage interne propre à chaque sous-ensemble peut se faire indépendamment des autres sous-ensembles avec chacun son ou ses propres sens de montage. Dans l'exemple traité, les roulements de l'arbre d'entrée sont montés de gauche à droite sur l'arbre ; l'arbre équipé est monté de droite à gauche dans le boîtier et ceci indépendamment de l'ensemble des autres éléments de la pompe.

### **2.2. Simplification des formes et des usinages**

La partition du carter initial en carter-support et plusieurs sous-ensembles rapportés conduit pour chacun d'eux à des formes simples. Les sous-ensembles rapportés concernent fréquemment des liaisons type pivot et pivot glissant, les pièces moulées associées sont alors de révolution (boîtier (9) et cylindre (13)) leur conception est simple et leur usinage ne relève pratiquement que du tournage avec des moyens classiques.

Le carter sera de toute manière une pièce aux formes et surtout aux usinages plus simples. Le schéma d'architecture 4 montre que ses surfaces fonctionnelles sont :

- des **associations plan-cylindre** au niveau des liaisons avec les sous-ensembles (SE1 et SE3),
- un **plan** au niveau de sa liaison avec le socle.

Pour un carter monobloc, les usinages peuvent s'avérer complexes quant à l'accès des outils ou délicats à réaliser compte-tenu de leur précision. Dans une conception modulaire ils sont reportés sur les divers sous-ensembles et le carter ne devient plus une pièce névralgique dont la moindre erreur d'usinage peut provoquer son rebut. La gestion de production se complique avec trois pièces au lieu d'une mais les garanties de réduction de rebut augmentent.

### 2.3. Interchangeabilité et maintenance

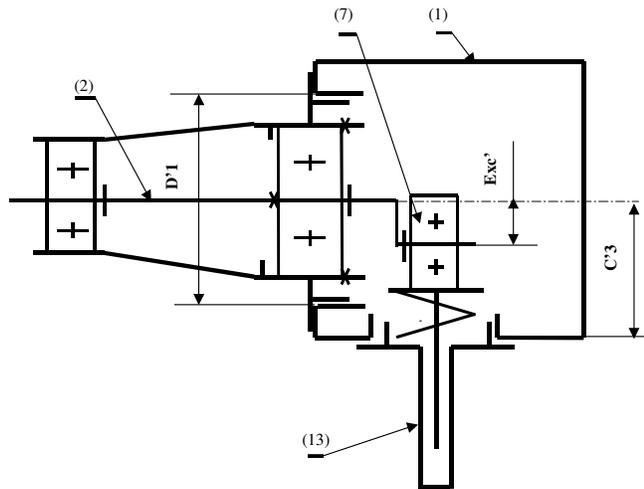
Si un sous-ensemble est défaillant, qu'il y a perte d'étanchéité au niveau de la liaison du piston et du cylindre, endommagement d'un roulement de l'arbre d'entrée, il est aisé de remplacer l'organe défaillant sans un démontage complexe. Le sous-ensemble devient en quelque sorte un **composant** au sens que l'on donne habituellement à des éléments plus simples comme les roulements, les vis.

### 2.4. L'adaptabilité aux modifications

Une modification des performances de l'appareil ne remet pas en cause sa conception globale et peut ne toucher qu'un sous-ensemble. Dans l'exemple de la pompe, si l'on veut modifier le débit ou la pression, il est relativement aisé de jouer sur des paramètres indépendants comme la valeur de l'excentration en entrée ou le diamètre du piston en sortie sans produire une cascade non maîtrisable de modifications. Une modification dans un sous-ensemble ne déclenche en général que des modifications mineures dans les autres sous-ensembles et dans le carter-support.

Prenons par exemple une modification de l'excentration **exc** du roulement (7) au niveau de l'arbre d'entrée, elle conduit aux modifications suivantes (figure 5) :

- arbre (2) : agrandissement de la partie cylindrique d'extrémité de l'arbre pour recevoir cette nouvelle excentration **exc'**,
- carter-support (1),
- augmentation du diamètre **D1'** du centrage court qui reçoit le boîtier et peut-être une modification d'encombrement du carter mais sans remise en question de sa forme générale,
- augmentation de la cote **C3'** qui repositionne le cylindre (13), le piston et le ressort.



**Figure 5. Une modification de l'excentration**

La **CAO (Conception Assistée par Ordinateur)** permet de faire ces modifications très rapidement sans une remise en cause totale de l'architecture générale de l'ensemble mécanique.

### 2.5. Famille et banque de solutions

Le montage de roulements de l'arbre d'entrée est un classique dès que l'on se trouve en présence d'une configuration d'arbre d'entrée ou de sortie pour lequel la transmission d'effort vers la pièce adjacente se fait en porte-à-faux. La mise en bibliothèque de solutions et leur stockage est aujourd'hui aisée grâce aux logiciels de **CAO**. Un paramétrage réfléchi permet de les réutiliser à d'autres fins et évite ainsi de reconcevoir systématiquement des solutions identiques. La conception modulaire associée à la CAO permet la création et le stockage de

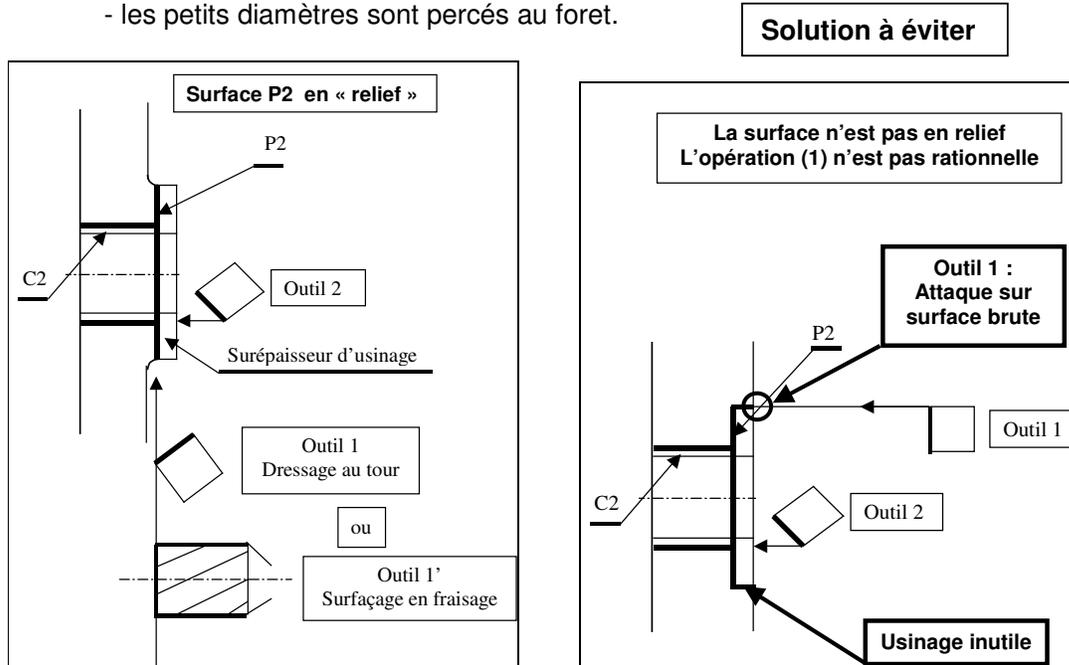
**familles de solutions** adaptables à divers ensembles mécaniques et de constituer ainsi une **banque de solutions** qui ne peut qu'accroître l'efficacité d'un bureau d'étude. Il suffit de consulter la gamme de produits d'un fabricant de réducteurs par exemple pour constater que cette **rationalisation de la conception et de la fabrication** est largement employée, les appareils d'une même gamme ne se distinguent que par leurs dimensions, leurs formes générales sont les mêmes.

### 3. TRACE DES PIÈCES MOULÉES

Le tracé des pièces dépend du mode d'obtention. Les pièces de formes complexes sont : moulées, soudées, embouties, forgées ou estampées. Ce sont généralement les carters, boîtiers et couvercles. Pour les pièces moulées, il faut veiller à leur donner une forme générale simple (cylindre, parallélépipède).

#### 3.1. Les surfaces fonctionnelles

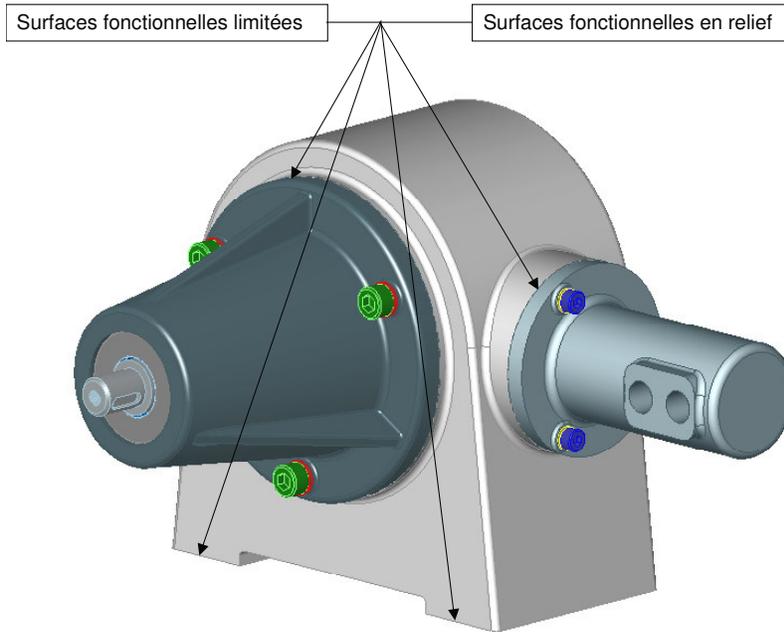
- concevoir des formes simples pour faciliter l'usinage (voir dessin de définition du corps de pompe).
- réduire les surfaces fonctionnelles à leur zone utile.
- les placer sur des surépaisseurs afin de faciliter l'accessibilité, et le mode d'action rationnel des outils d'usinage, elles doivent être "en relief » (voir dessin 3D ci-dessous):
- les plans sont ou dressés (outil 1, cas 1) ou fraisés (outil 1', cas 1)
- les grands diamètres sont usinés à l'outil (outil 2 cas 1),
- les petits diamètres sont percés au foret.



#### 3.2. Les surfaces brutes

Respecter les règles de tracé associées à la technique du moulage. Dans le cas du moulage au sable:

- le plan de joint est un plan généralement de symétrie et qui coupe la pièce selon une section importante. Ceci permet de mouler la pièce "à plat" et donc avec une chute de métal minimale,
  - les noyaux doivent être dans le plan de joint ou perpendiculaire à celui-ci,
  - la plaque modèle qui fait l'empreinte doit être démoulable donc attention aux contre-dépouilles.
- prévoir une épaisseur quasi-constante pour un refroidissement homogène de la pièce (6 à 10 mm en fonte).



Réf. « Méthodologie de conception en 3DF » . E.Nerkowski et J.P Costes . Edition Casteilla.  
N.E 2004