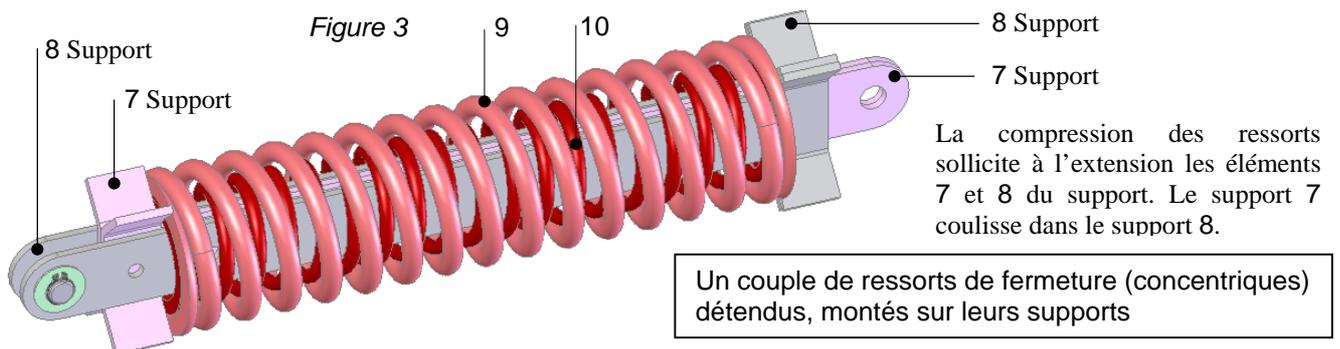


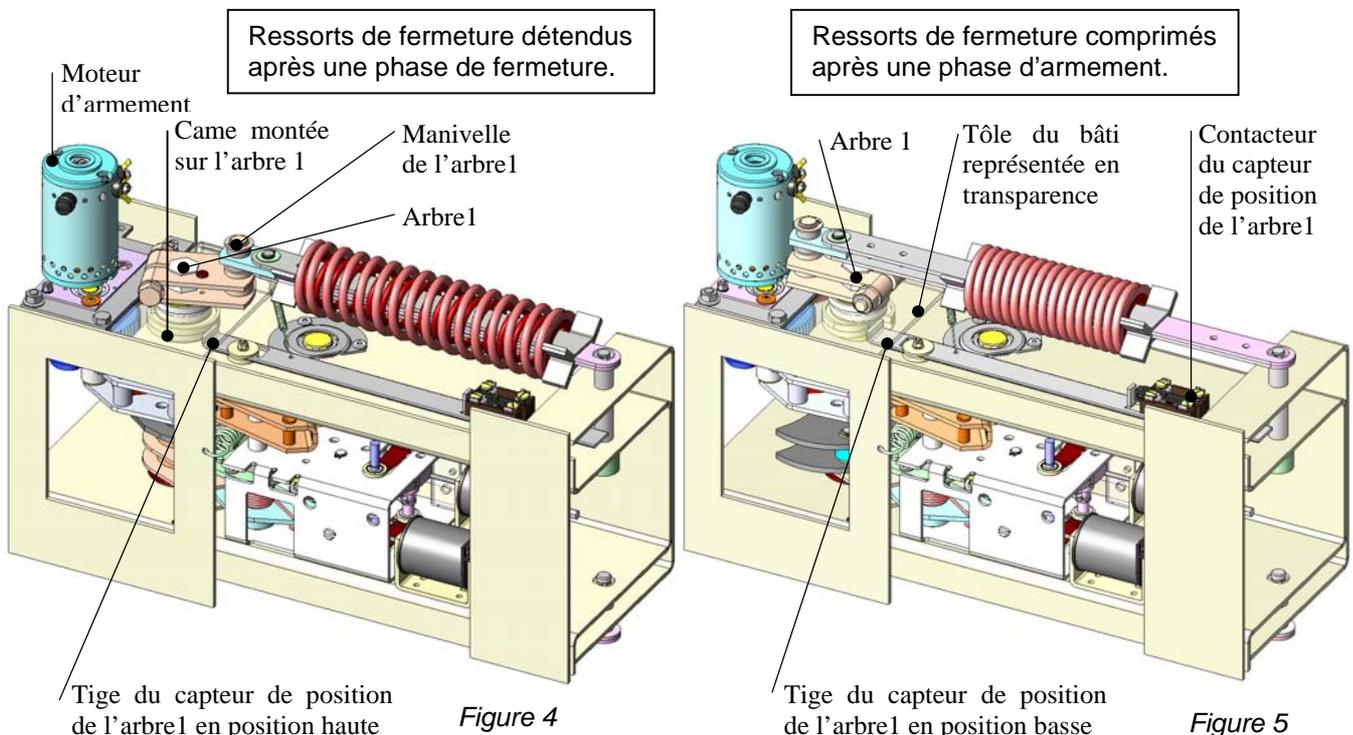
LA PHASE D'ARMEMENT

1 L'ACCUMULATION D'ENERGIE

Les durées maxi des phases d'ouverture ($< 0,08$ s) et de fermeture ($< 0,1$ s) (consulter <http://norm.edf.fr/pdf/HN64S47.pdf> -page 19) imposent une transmission à cinématique très rapide, donc le choix d'actionneurs délivrant une très grande énergie pendant un temps extrêmement court. Une grande puissance est nécessaire, mais les temps de fonctionnement sont très brefs. On a donc logiquement recours à un système à accumulation d'énergie. Ici, les concepteurs se sont orientés vers de puissants ressorts de compression.



Le mouvement de fermeture utilise l'énergie accumulée par deux couples de ressorts de compression concentriques, montés en parallèles de chaque cotés du bloc de puissance (voir figure 2 chap. 1).



Lors de la détente des ressorts, l'arbre 1 a été entraîné, par inertie, légèrement au delà de la position de compression minimale des ressorts. Il reste bloqué dans cette position (voir §2.1.1) par un système de cliquets et roue à rochet jusqu'au début de la phase d'armement.

En position « armé », les ressorts sont au maximum de la compression possible avec ce montage. L'arbre 1 est bloqué dans cette position par le mécanisme de commande jusqu'au début de la phase de fermeture (voir §2.1.2).

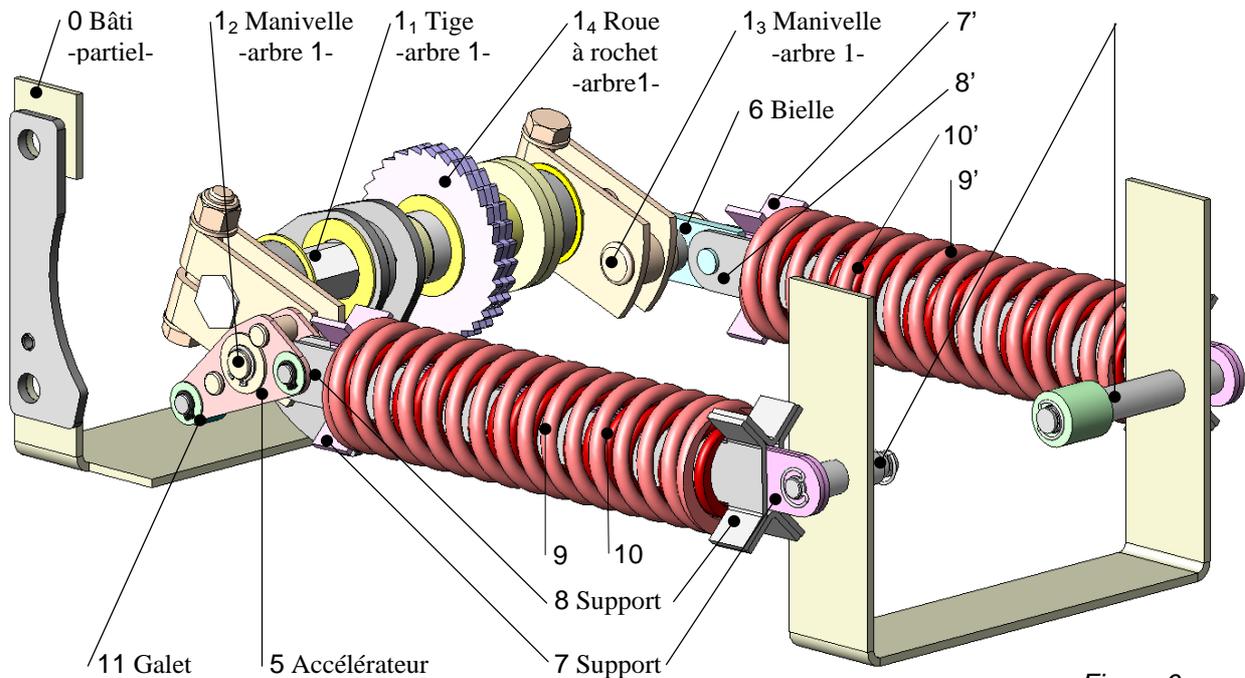


Figure 6

Le montage correspond au schéma cinématique (ressorts non représentés) ci-dessous :

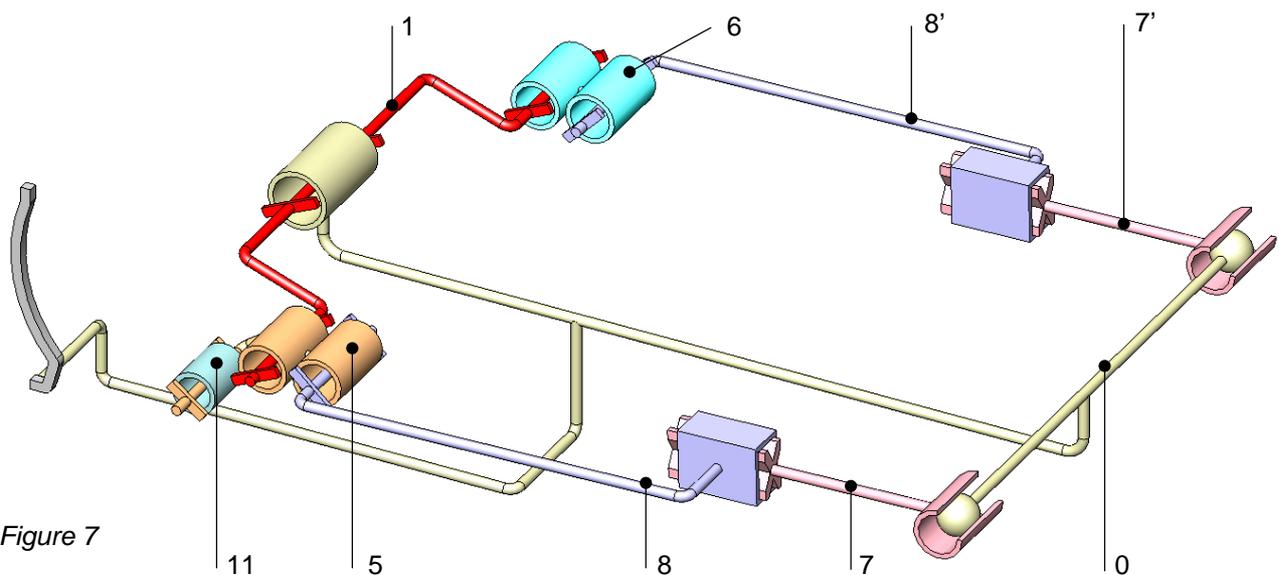


Figure 7

2 LE MECANISME D'ARMEMENT

Le mécanisme d'armement est double :

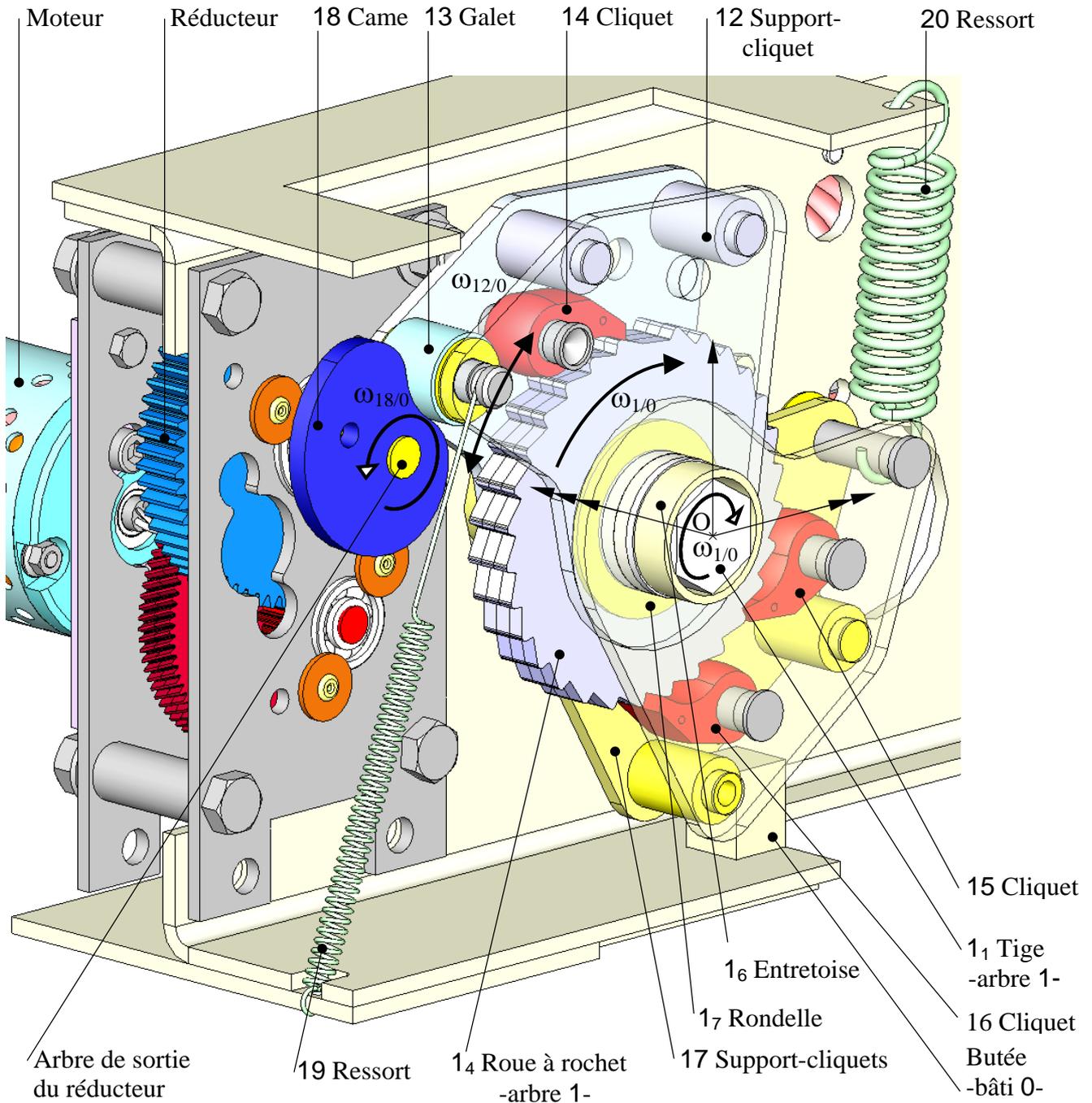
- Le mécanisme d'armement manuel est utilisé lors des opérations de maintenance. L'énergie est alors fournie par l'opérateur.
- Le mécanisme d'armement électrique est commandé à distance, depuis le poste de contrôle, par un automate ou par un opérateur. L'énergie est alors fournie par le moto-réducteur.

Ces deux mécanismes font tourner l'arbre 1 d'environ un demi-tour pour l'amener dans la position de la figure 5, en agissant sur sa roue à rochet par l'intermédiaire de cliquets montés sur des supports guidés en rotation autour de l'arbre 1.

2.1 L'ARMEMENT A COMMANDE ELECTRIQUE

2.1.1 LE MONTAGE

Figure 8



On note (O, \vec{z}) l'axe de l'arbre 1, orienté comme indiqué sur la figure 8 ci-dessus.

(O, \vec{x}) représenté par \longrightarrow (O, \vec{y}) représenté par $\longrightarrow\longrightarrow$ (O, \vec{z}) représenté par $\longrightarrow\longrightarrow\longrightarrow$

L'énergie est délivrée par un moteur électrique à courant continu alimenté par un parc de batteries sous une tension de 120 volts. Ce moteur est couplé à un réducteur à axes parallèles comportant un engrenage à denture hélicoïdale et un engrenage à denture droite.

Le rapport de transmission du réducteur est $i = 89,92$.

La roue à rochet 1₄ (en trois pièces accolées) est en liaison encastrement avec la tige 1₁ de l'arbre 1 (guidage axial par un profil hexagonal et arrêt axiaux par des entretoises 1₆). Deux supports de cliquets

identiques sont montés en liaison pivot sur l'arbre 1 (guidage en rotation sur les entretoises 1₆ et arrêts axiaux par des rondelles en bronze 1₇) :

- Le support 12 porte le cliquet moteur 14 et un galet 13 maintenu en appui sur la came 18 de l'arbre de sortie du réducteur par le ressort 19.
- Le support 17 porte deux cliquets de retenue 15 et 16. Il est maintenu en appui sur une butée fixe du bâti par un ressort 20. Ce support et les axes des cliquets 15 et 16 sont donc fixes dans la phase d'armement électrique.

2.1.2 LES MOUVEMENTS DES PIÈCES

On consultera les vidéos de cette phase.

Sur la figure 8 ci-dessus, c'est le cliquet 16 qui bloque le mouvement de recul de l'arbre 1.

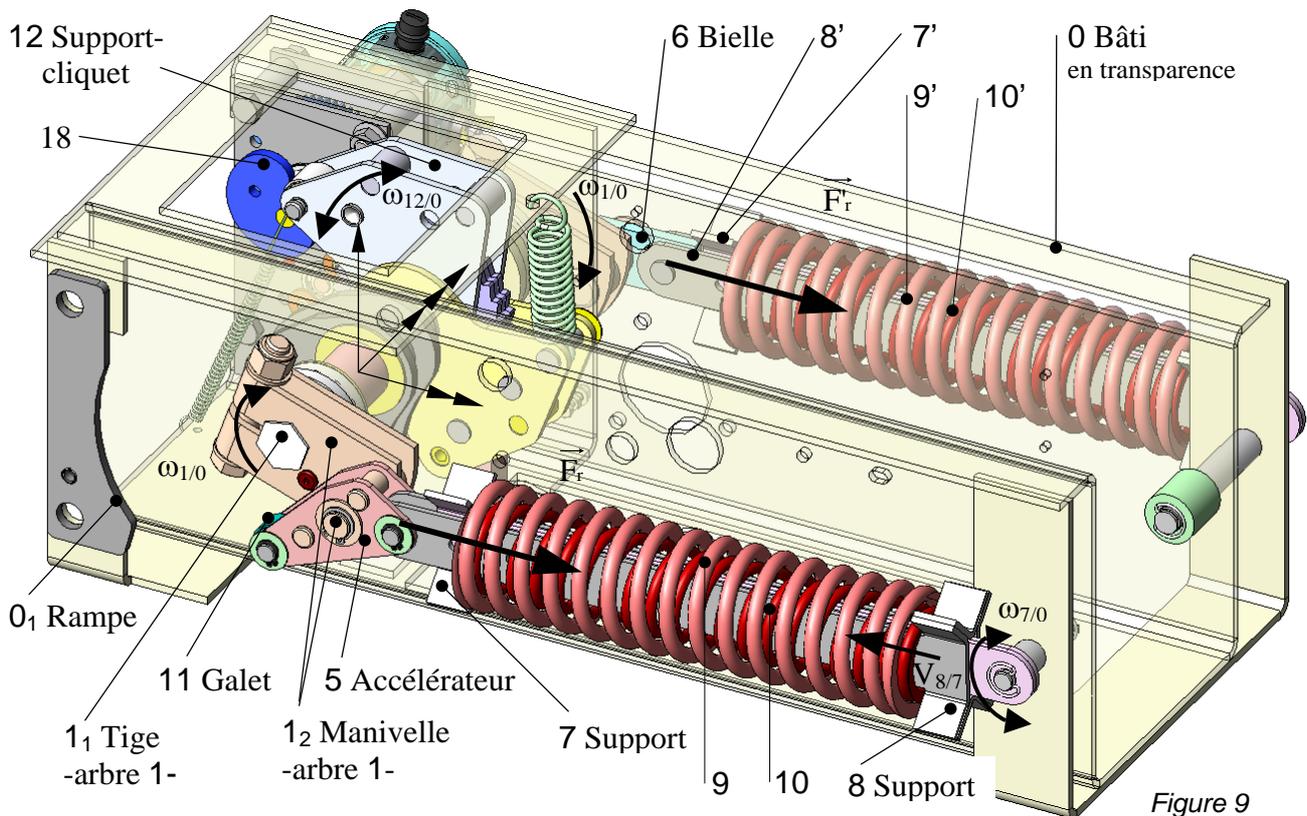


Figure 9

La phase « d'armement électrique » dure environ 5 secondes. Au cours de cette phase :

- La came 18 est entraînée en rotation par le moto-réducteur. Elle transmet au support 12 un mouvement de rotation alternatif d'amplitude 15 degrés environ.
- Le cliquet 14 est moteur :
 - Il entraîne la roue à rochet en rotation dans le mouvement « aller » de son support 12.
 - Il se soulève et recule par rapport à la roue à rochet 1₄ dans le mouvement « retour » de 12.
- Le mouvement de recul de la roue à rochet 1₄ est limité par l'un des deux cliquets 15 ou 16.
- A chaque tour de la came 18, la roue à rochet tourne de 1/30° de tour. L'armement est terminé lorsque le cliquet 14 a achevé la poussée de la dent située juste avant la zone non dentée de la roue.
- Le capteur de position de l'arbre 1 (voir figures 4 et 5) délivre l'information de fin de phase (coupure de l'alimentation du moteur électrique). La suppression de la 30° dent est nécessaire car, entraînée par l'inertie du moto-réducteur, la came 18 effectue plusieurs avant l'arrêt.

Par rapport à la position « début d'armement » des figure 8 et 9 ci-dessus, la fin de la phase d'armement intervient après treize tours de la came 18.

L'accélérateur 5 et la bielle 6 se comportent exactement de la même façon (même entraxe) tant que le galet 11 de l'accélérateur ne vient pas au contact de la rampe (voir figure 9 ci-dessus).

2.1.3 LES ACTIONS MECANIQUES

Au cours de la phase d'armement, les actions \vec{F}_r et \vec{F}'_r , des ressorts de fermeture (Figure 9), transmises à la bielle 6 et à l'accélérateur 5 créent, par l'intermédiaire des deux manivelles 1₂ et 1₃ de l'arbre 1, un couple C_1 sur l'arbre 1 :

$$C_1 = M_{/Oz}(6/1) + M_{/Oz}(5/1) \quad \text{et} \quad C_1 < 0 \quad (\text{sauf en fin de phase})$$

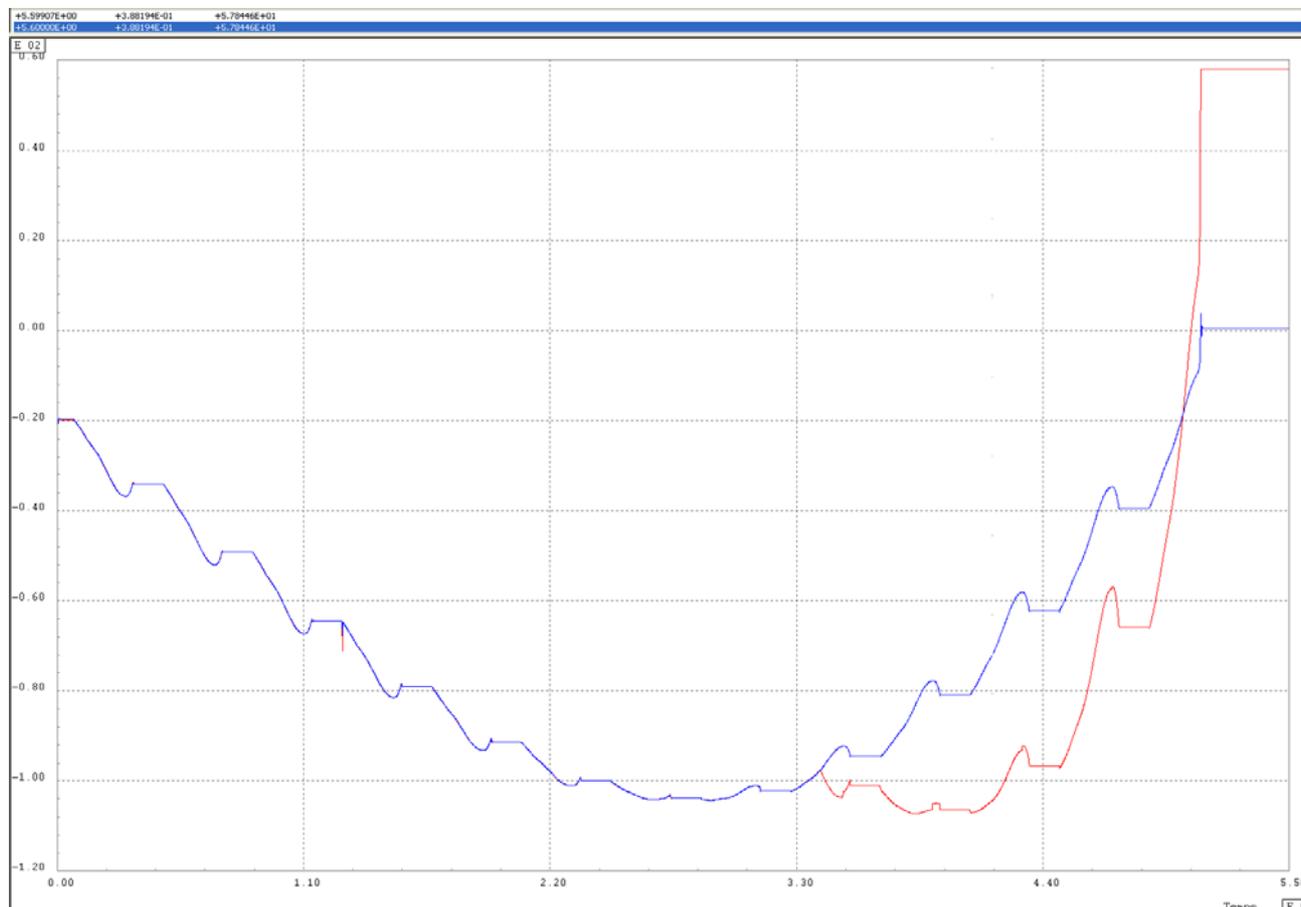


Figure 10

2.1.4 LA FIN DE LA PHASE D'ARMEMENT

A la fin de la phase d'armement, la configuration du système doit être celle du début de la phase de fermeture :

- Les ressorts de fermeture doivent être au « maximum » de compression (énergie stockée).
- Le couple : $C_1 = M_{/Oz}(6/1) + M_{/Oz}(5/1)$ doit être moteur ($C_1 > 0$)
- La valeur de C_1 doit assurer une accélération suffisante en début de phase de fermeture.
- C'est le dispositif de commande qui doit bloquer la rotation de l'arbre 1 (et la libérer lors de la phase de fermeture : $\omega_{1/0} > 0$ sur la direction \vec{z}).

DISPOSITIONS TECHNOLOGIQUES ET CONSTRUCTIVES :

Les conditions de fonctionnement précédentes sont assurées par la configuration du contact 5-0, entre le basculeur et la rampe du bâti. Ce contact intervient lors de la poussée de la dent n°5 par le cliquet 14 (voir figure 10 ci-dessus). Dès que le contact 5-0 est établi, le basculeur n'est plus « une simple bielle », il modifie la transmission des actions mécaniques entre le support 8 et la manivelle 1₂ de l'arbre 1.

En fin d'armement :

- 6 est en équilibre sous les actions de 10 et de 1 : $M_{/Oz}(6/1) > 0$ mais « faible » (+0,4 N).
- 5 est en équilibre sous les actions de 7, de 0 et de 1 : $M_{/Oz}(5/1) > 0$ et « important » (+57,8 N).

Lors de la poussée de la dent n°1 les deux moments $M_{/Oz}(6/1)$ et $M_{/Oz}(5/1)$ changent de signe et deviennent « moteurs » pour l'arbre 1.

Le graphe ci-contre représente les évolutions de $M_{/Oz}(6/1)$ en rouge et de $M_{/Oz}(5/1)$ en bleu en fonction du temps en fin de phase d'armement.

- t1** : Début poussée dent n°1(*)
 $M_{/Oz}(6/1) < 0$ et $M_{/Oz}(5/1) < 0$
- t2** : Fin poussée dent n°1
 $M_{/Oz}(6/1) + M_{/Oz}(5/1) = 0$
- t3** : Arrêt arbre1 par le levier de commande (voir ci-dessous).
 $M_{/Oz}(6/1) + M_{/Oz}(5/1) > 0$

L'intervalle de temps $[t_0, t_1] = 0,400$ s est la durée de la poussée de la dent n°2.

L'intervalle de temps qui se termine à t1 et sur lequel $M_{/Oz}(6/1)$ et $M_{/Oz}(5/1)$ sont constants, correspond à la retenue de l'arbre 1 par l'un des deux cliquets 15 ou 16 pendant le recul puis l'approche du cliquet 14.

* La numérotation des dents de la roue à rochet est définie sur la figure 12. La dent n°1 est la dernière dent à être poussée par le cliquet 14 avant la fin de la phase d'armement.

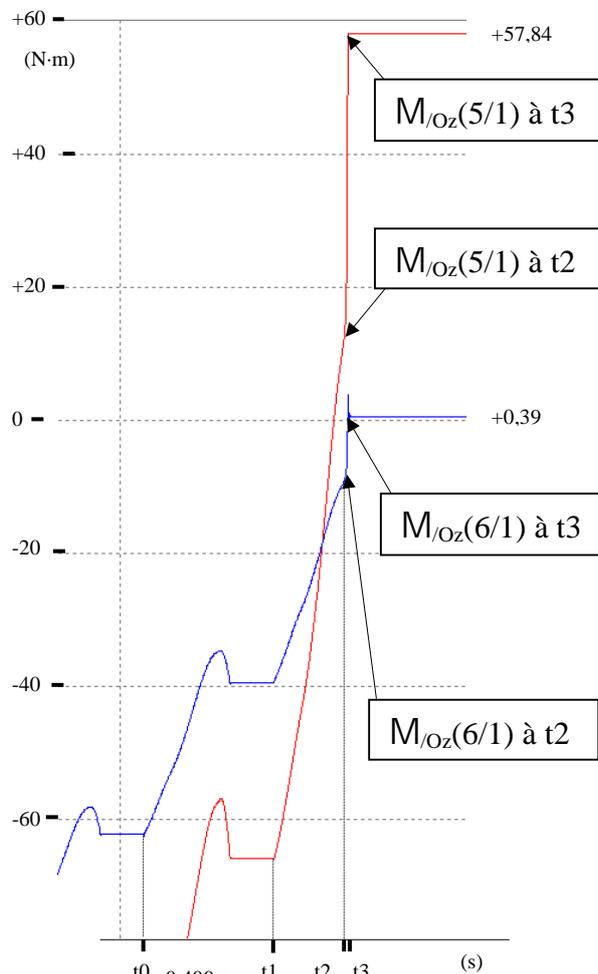


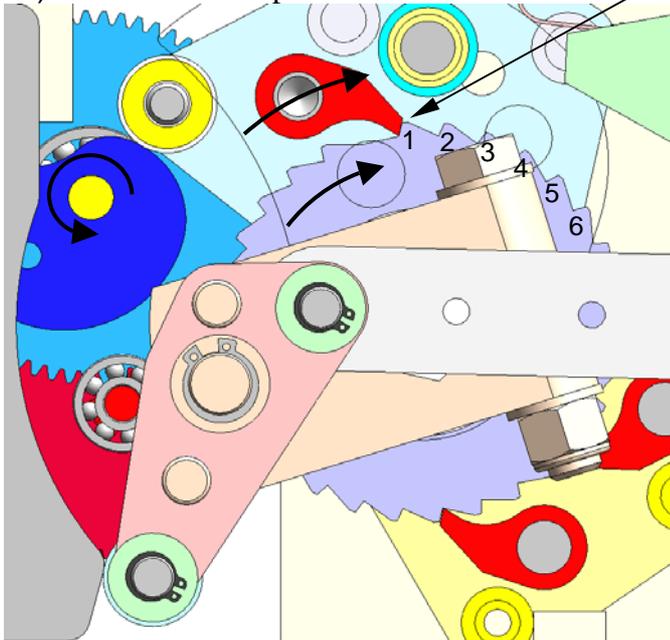
Figure 11

L'intervalle de temps $[t_2, t_3]$ est absolument crucial, le comportement du mécanisme y est tout à fait remarquable. Grâce à la position prise à ce moment par l'accélérateur 5, les actions de 5 et de la bielle 6 sur l'arbre 1 deviennent soudainement motrices pour 1. Comme le montre la figure 14, à l'instant $t_2 + dt$, ce n'est plus le cliquet 14 qui entraîne l'arbre 1, ce sont 5 et 6. Le cliquet 14 est « en retard » dans sa poussée, l'arbre 1 s'échappe et sa butée 21 vient buter sur le levier 22 à l'instant t3.

Le capteur de position de l'arbre 1 (voir fig.4 et fig.5 page 5) provoque la coupure de l'alimentation du moteur électrique. L'inertie du moto-réducteur fait encore faire quelques tours à la came 18, mais le cliquet 14 glisse alors sur un méplat de la roue à rochet (fig. 14). Fin de la phase d'armement.

Les positions correspondantes aux temps t1, t2 et t3 sont illustrées sur les figures 12 à 15 ci-dessous. Le dispositif d'arrêt de l'arbre 1 par le levier de commande est décrit par la figure 16 et par le schéma cinématique (Figure 29) ci-dessous.

1) t1 : Début de la poussée sur la dent n°1 :

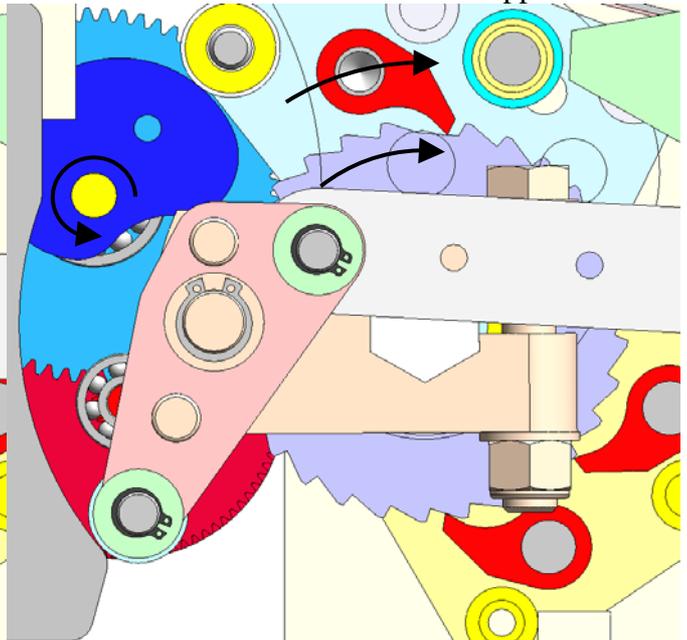


$$M_{/oz}(4/1) + M_{/oz}(5/1) < 0$$

Les cliquets 15 et 16 s'opposent aux actions des ressorts de fermeture lors du recul du cliquet 14.

Figure 12

t2+dt : La roue à rochet s'échappe :

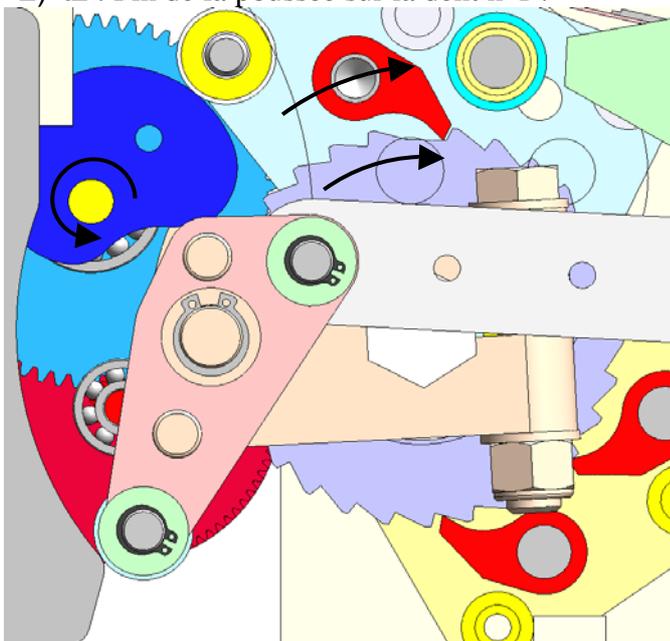


$$M_{/oz}(6/1) + M_{/oz}(5/1) > 0$$

Le cliquet 14 continue sa course sans pousser. L'intervalle de temps [t2,t3] dure 0,054 secondes.

Figure 14

2) t2 : Fin de la poussée sur la dent n°1 :

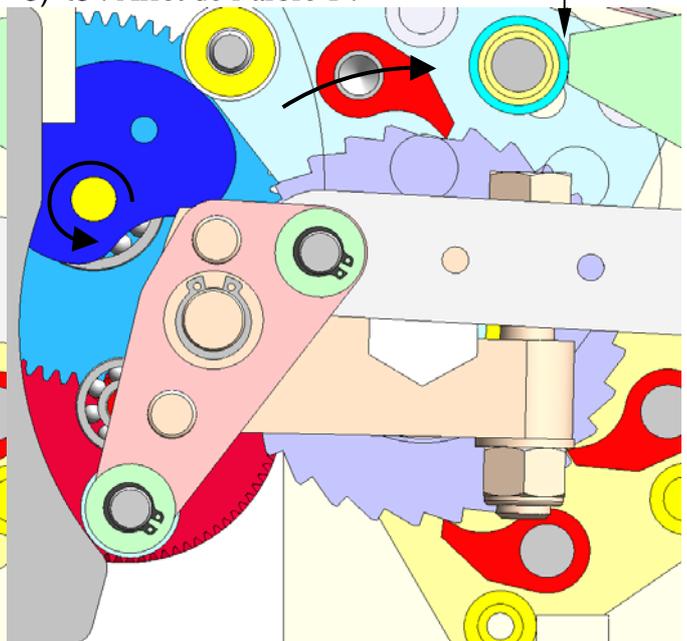


$$M_{/oz}(6/1) + M_{/oz}(5/1) = 0$$

$$- M_{/oz}(6/1) = +M_{/oz}(5/1) = +11,4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Figure 13

3) t3 : Arrêt de l'arbre 1 :



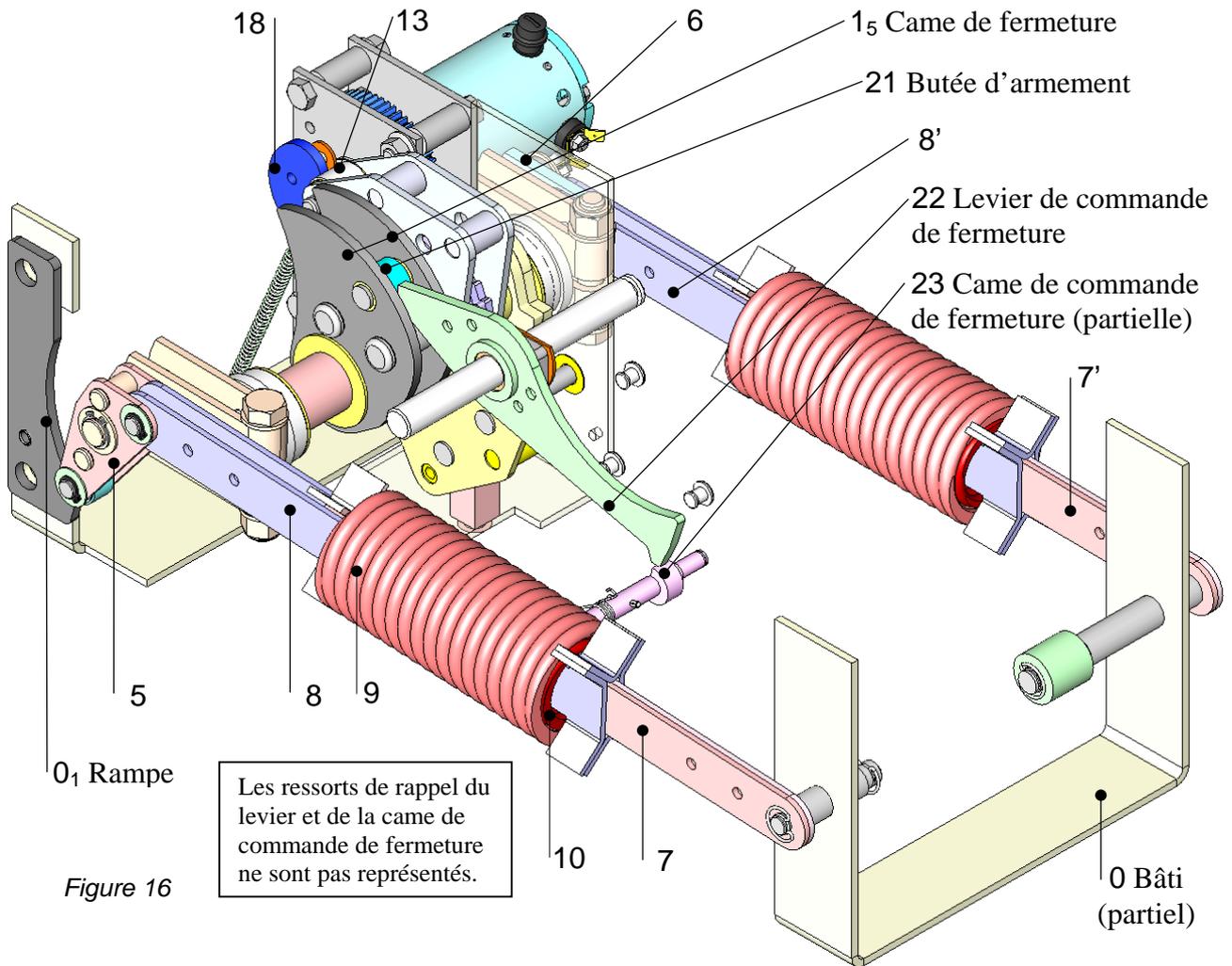
$$M_{/oz}(6/1) + M_{/oz}(5/1) > 0$$

L'arbre 1 est arrêté par la butée d'armement 21 qui bute contre le levier de commande. Les cliquets 14, 15 et 16 sont inopérants. [Arrêt du moteur, mais la came 18 fait encore plusieurs tours entraînée par l'inertie du moto-réducteur]

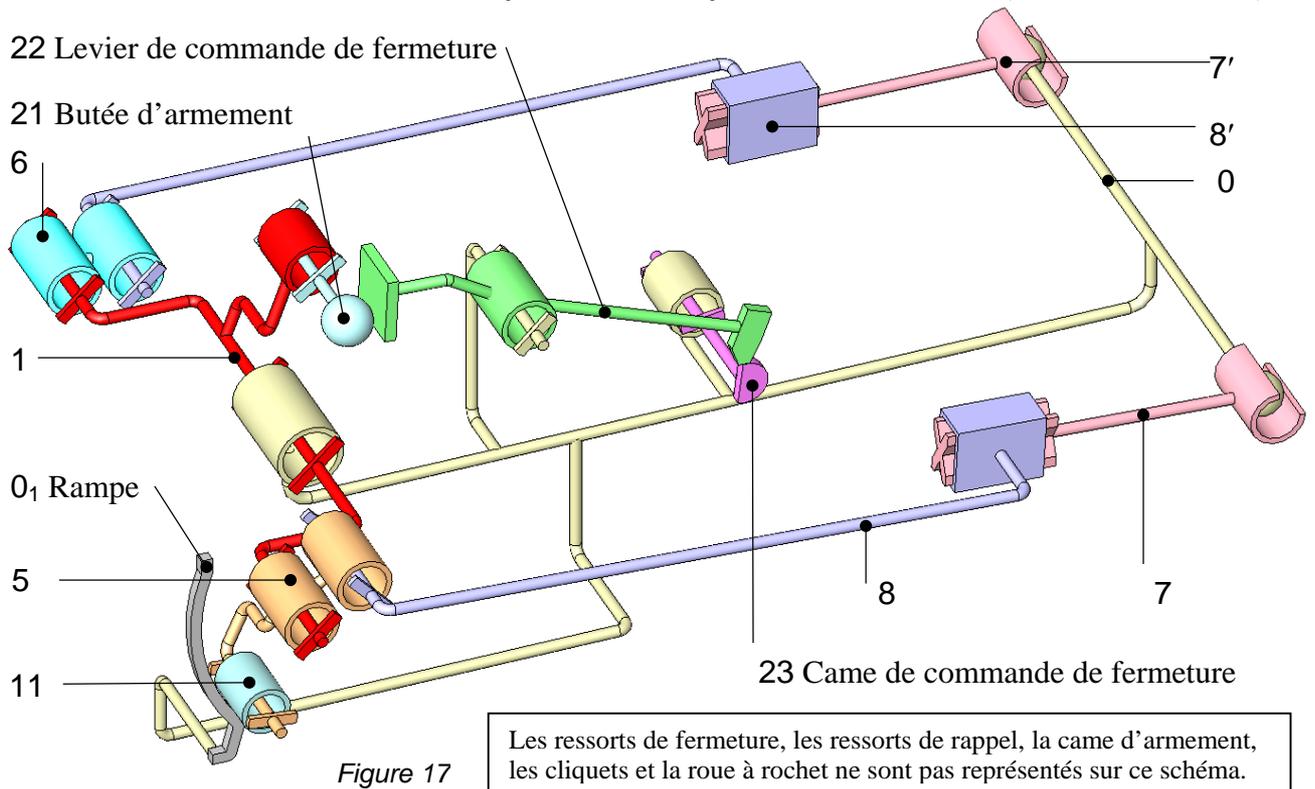
Figure 15

Le « calage angulaire » de la roue à rochet est tel que lorsque les ressorts de fermeture sont au maximum de compression, le cliquet 14 glisse sur le plat qui est en place de la 30° dent de la roue (temps t3 ci-dessus).

LE MECANISME DE RETENUE DE L'ARBRE 1 EN FIN DE PHASE



SCHEMA CINEMATIQUE : Représentation en position fin armement (ou début fermeture)



2.1.5 LES CONTACTS DU LEVIER DE COMMANDE DE FERMETURE

Le lecteur « pressé » peut, dans un premier temps, passer ce paragraphe. Nous y présentons le comportement du levier de commande de fermeture dans la phase d'armement.

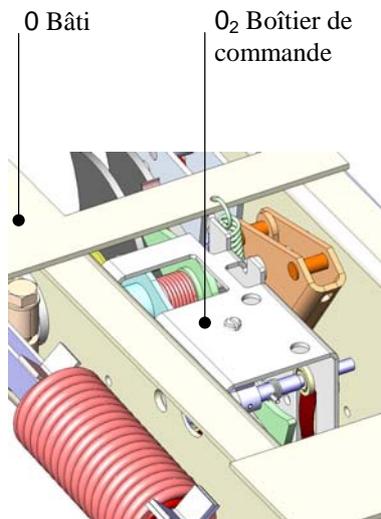


Figure 18

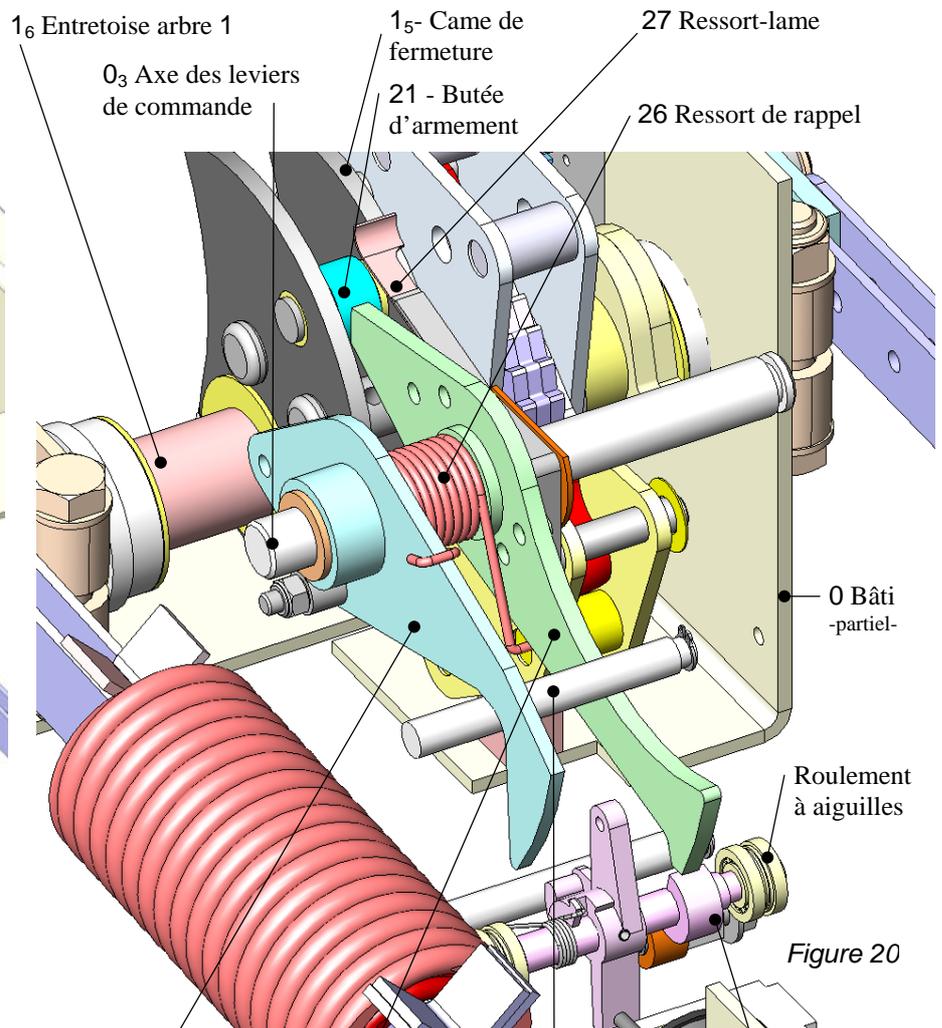


Figure 19

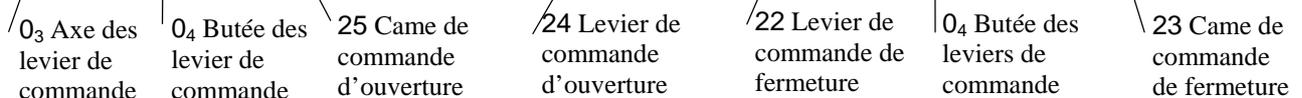
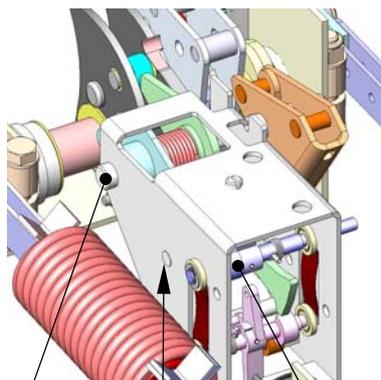


Figure 20

Les leviers des commandes, de fermeture 22 et d'ouverture 24, partagent le même ressort de rappel 26. Ce ressort tend à ramener ces deux leviers au contact d'une butée 0₄, matérialisée par un arbre fixe du boîtier de commande 0₂.

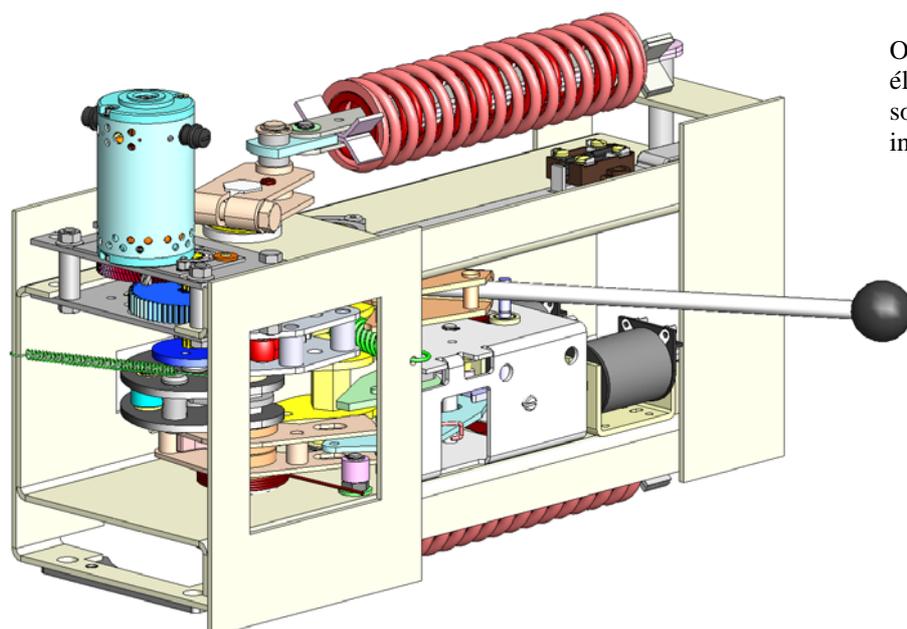
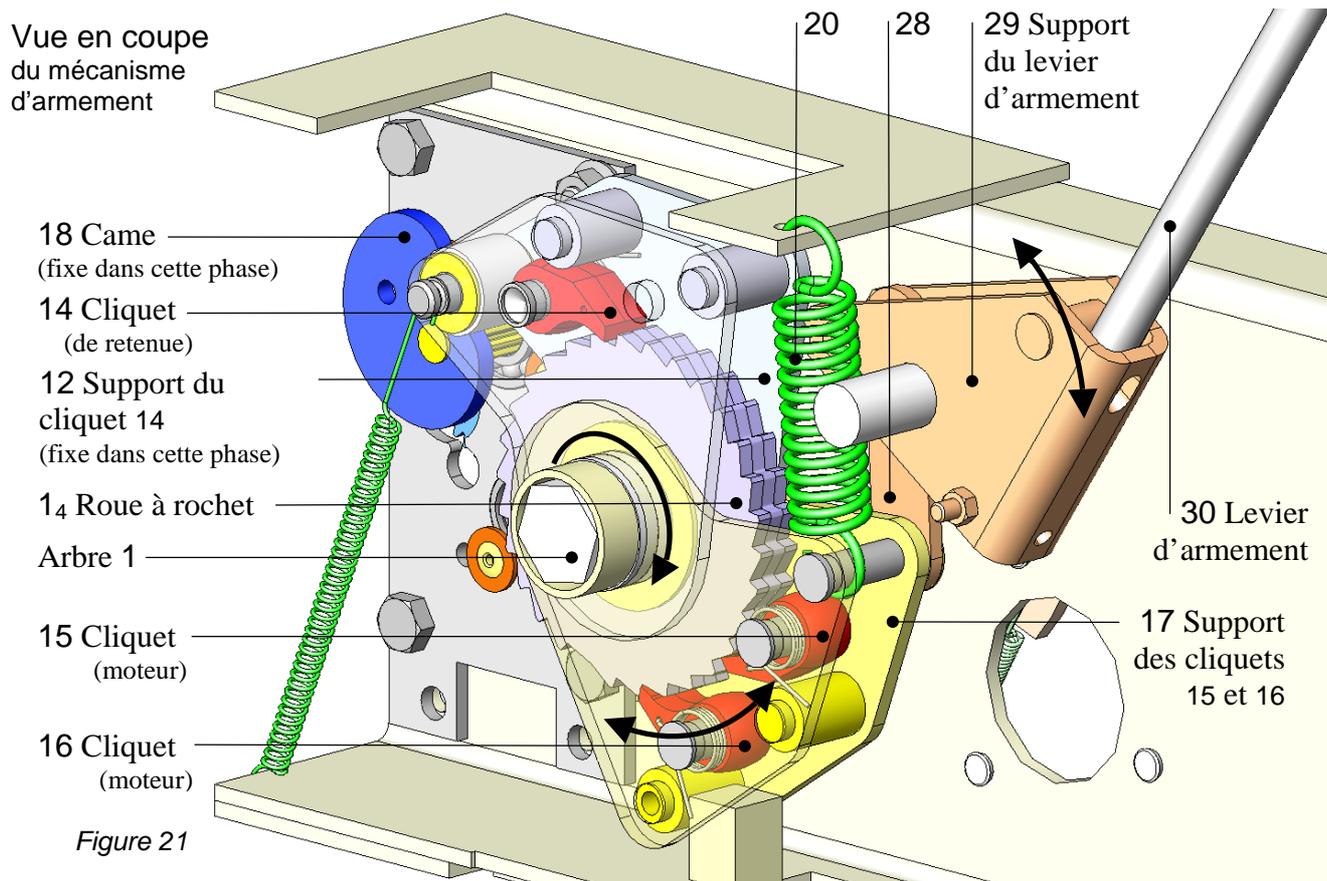
- En conséquence, tant que le levier de commande de fermeture 22 ne subit pas d'autre sollicitation que celle du ressort de rappel 26, il n'est pas en contact avec la came de commande de fermeture 23. Le jeu entre la came 23 et le levier 22 est de l'ordre de 0,5 mm.
- Le ressort-lame 27 est encastré à une extrémité sur le levier de commande. Son autre extrémité vient s'appuyer et glisser sur le profil de la came de fermeture 1₅ (lorsque son profil se présente).
- Au cours de la rotation de l'arbre 1, le profil de la came de fermeture 1₅ fait fléchir le ressort-lame 27. Le couple ainsi exercé sur le levier de commande 22 s'oppose à celui du ressort de rappel 26.
- Ce n'est qu'à la fin de la poussée de la dent n°1 que ce couple atteint la valeur qui fait basculer le levier de commande 22 au contact de la came de commande 23.
- Dans l'instant suivant, la butée d'armement 21 montée sur la came 1₅ bute sur le levier de commande 22.

2.2 L'ARMEMENT MANUEL

Pour armer manuellement le bloc de puissance du disjoncteur, l'opérateur utilise un levier de manœuvre escamotable en acier qu'il insère dans son support. La bielle d'armement transmet la rotation alternative de ce levier au support 17 des cliquets 15 et 16.

Dans cette phase de fonctionnement :

- L'un des deux cliquets 15 ou 16 est moteurs, il entraîne la roue à rochet 14.
- Le ressort 20 est un ressort de rappel.
- Le cliquet 14 est le cliquet de retenue.
- Le support 12 est en appui sur la came 18, fixe du fait de l'irréversibilité du moto-réducteur.



3 LA CIRCULATION DE L'ENERGIE EN PHASE D'ARMEMENT

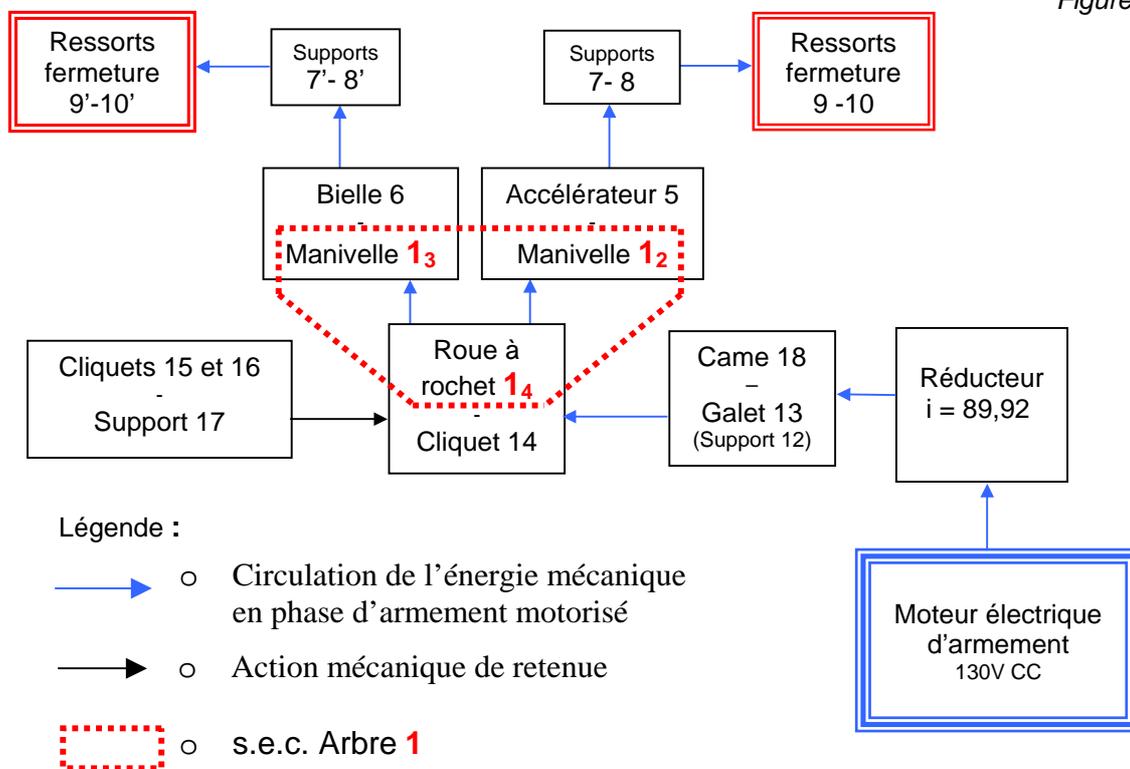
Le moteur électrique fournit de l'énergie mécanique au système qui l'adapte de manière à permettre la compression des couples de ressorts 9-10 et 9'-10'. Deux adaptations sont nécessaires :

- Créer un mouvement de translation entre les supports 7-8 et 7'-8' à partir du mouvement de rotation du rotor. C'est le système bielle – manivelle qui remplit cette fonction.
- Créer un effort capable de comprimer les ressorts de fermeture à la partir du couple disponible sur l'arbre du rotor du moteur à courant continu. La plage d'utilisation de ce moteur correspond à des vitesses de rotation élevées et à de faibles couples. Le réducteur, le système came-galet et le système cliquet-roue à rochet contribuent tous à cette adaptation des actions mécaniques motrices.

3.1 SCHEMA FONCTIONNEL EN PHASE ARMEMENT MOTORISE

On présente ci-dessous sous la forme d'un schéma la circulation de l'énergie mécanique entre les différents blocs fonctionnels dans la phase d'armement motorisé.

Figure 23

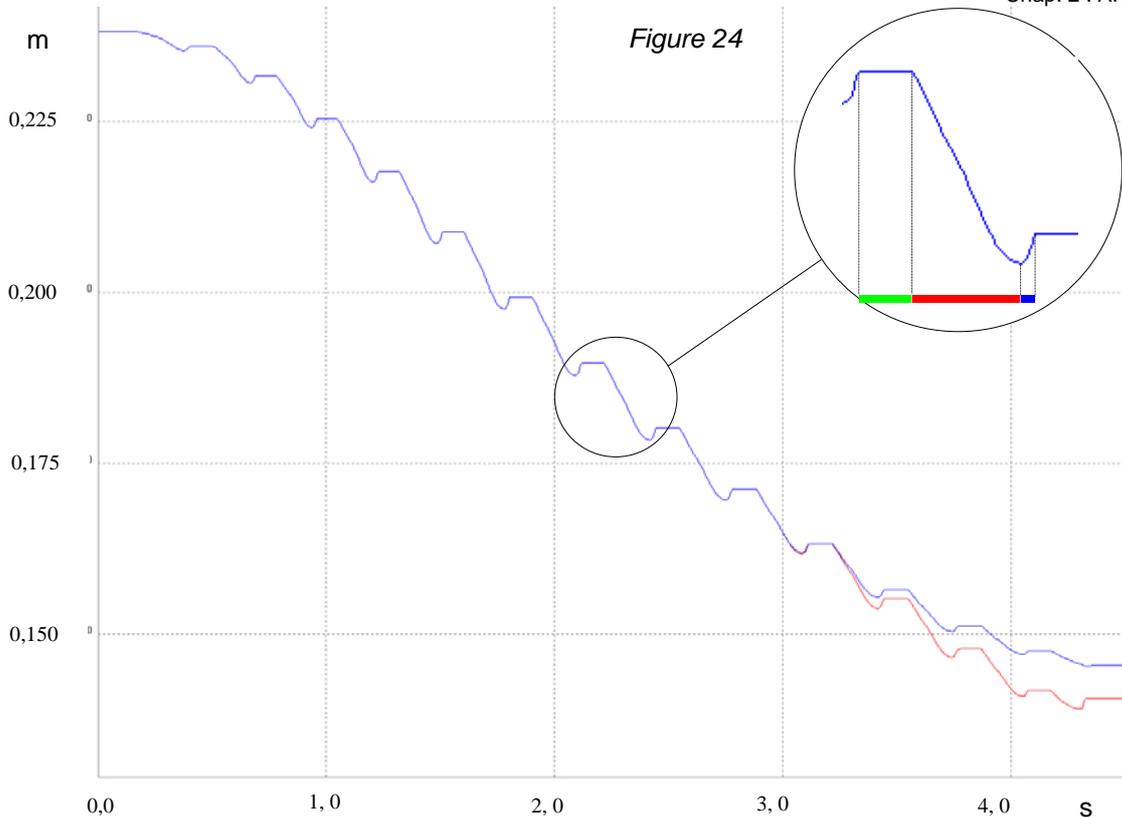


Examinons dans le détail comment le système répartit l'énergie mécanique fournie par le moteur électrique.

3.2 L'ACCUMULATION DE L'ENERGIE.

Dans ce système de transmission l'association des deux modules « came-galet » et « roue à rochet-cliquet » introduit une discontinuité dans la transmission. La puissance mécanique circule donc vers les ressorts de fermeture au cours d'intervalles de temps disjoints. L'énergie mécanique est accumulée dans les ressorts, sous forme d'énergie de déformation élastique, par paliers séparés par de courtes « pauses ». On présente ci dessous la courbe représentative de l'évolution temporelle de la longueur des ressorts. On y distingue trois zones :

- Les périodes de compression (—).
- De courtes périodes de détente (—). Elles correspondent à la mise en appui de la roue à rochet d'un des deux cliquets 15 ou 16 bloquant ainsi l'arbre 1.
- Les périodes d'immobilité des ressorts (—).



3.3 LA TRANSFORMATION DE L'ENERGIE.

Lorsque la came 18 n'est pas motrice, l'énergie mécanique fournie par le moteur électrique est transformée :

- en énergie cinétique des pièces en mouvement (principalement le rotor, les arbres du réducteur et le support de cliquet 12), les mouvements de ces sous-ensembles sont accélérés.
- en chaleur dans les liaisons, en fonction de l'importance du frottement.

Au cours de ces périodes le ressort 19 restitue de l'énergie. Les ressorts de fermeture restituent également un peu d'énergie lors du léger recul qu'effectue l'arbre 1 avant le blocage réalisé par l'un des deux cliquets 15 ou 16 (figure 24).

La figure 25 présente :

- En bleu, la courbe d'évolution de la puissance $P_a(t)$ entrant dans le « module d'accumulation » c'est à dire l'ensemble des ressorts 9-10 et 9'-10'.

$$P_a(t) = \overrightarrow{V(8/7)} \cdot \overrightarrow{F(8/9)} + \overrightarrow{V(8/7)} \cdot \overrightarrow{F(8/10)} + \overrightarrow{V(8'/7')} \cdot \overrightarrow{F(8'/9')} + \overrightarrow{V(8'/7')} \cdot \overrightarrow{F(8'/10')}$$

L'aire comprise entre cette courbe et l'axe des temps (abscisses) représente l'énergie accumulée par déformation dans les ressorts de fermeture.

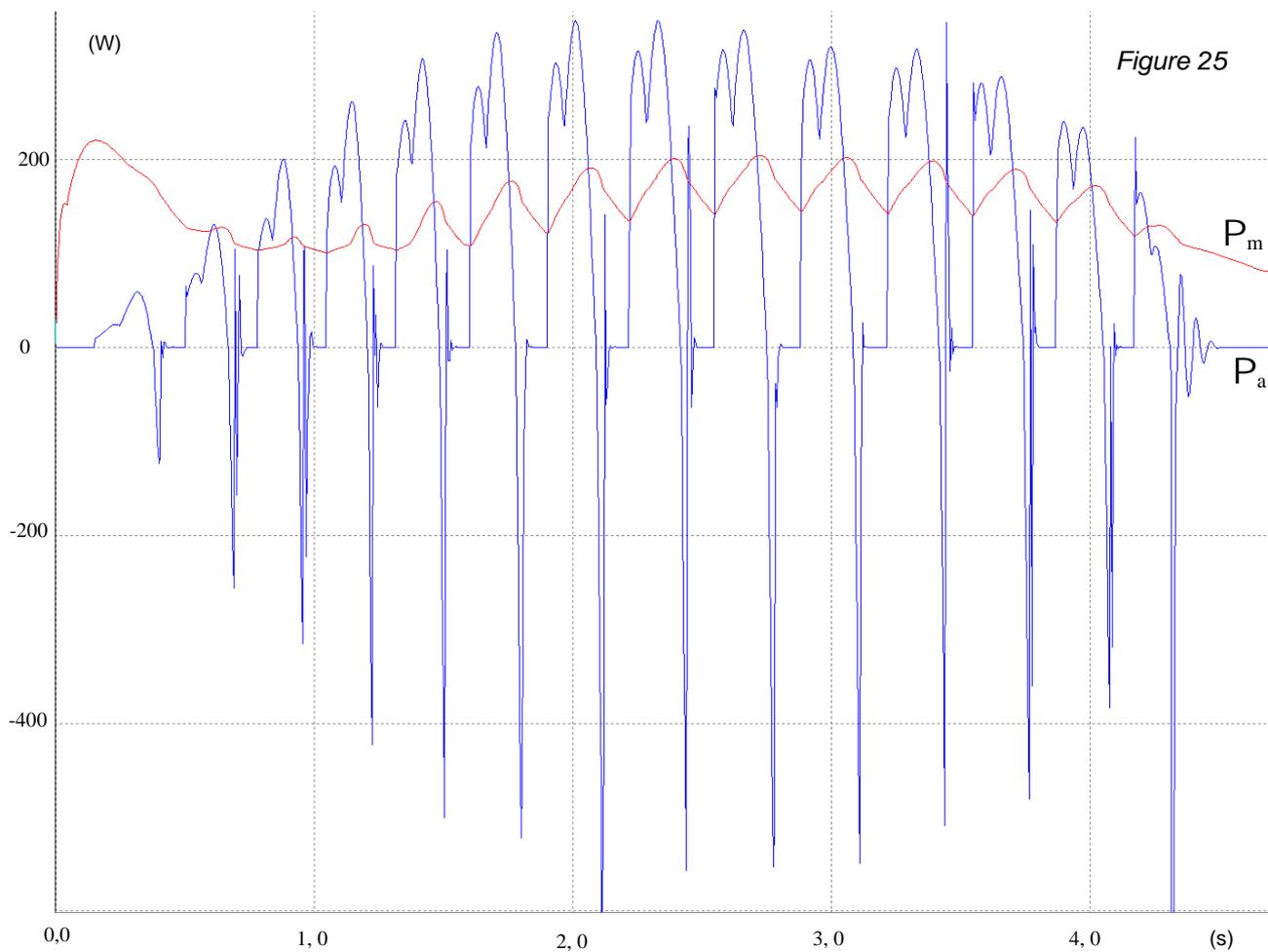
- En rouge, la courbe d'évolution de la puissance mécanique $P_m(t)$ fournie par le moteur électrique.

$$P_m(t) = \omega_m \cdot C_m$$

Sur cette courbe on remarque que, lorsque la came 18 est motrice, il existe des intervalles de temps au cours desquels :

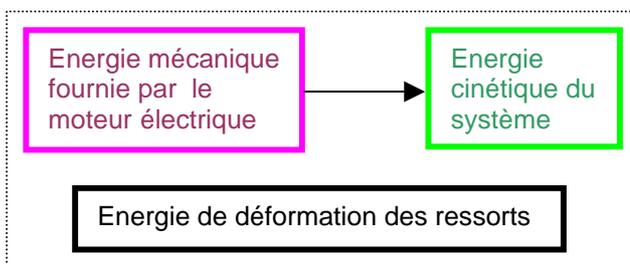
- la puissance mécanique entrant dans le module de stockage « ressorts 9-10 et 9'-10' » est supérieure à la puissance mécanique fournie par le moteur électrique.
- La vitesse des pièces en mouvement (rotor-moteur, arbre 1, déplacement des supports des ressorts 7-8 et 7'-8' l'un par rapport à l'autre) décroît.

Il y a donc transformation d'énergie cinétique en énergie de déformation au cours de ces périodes.

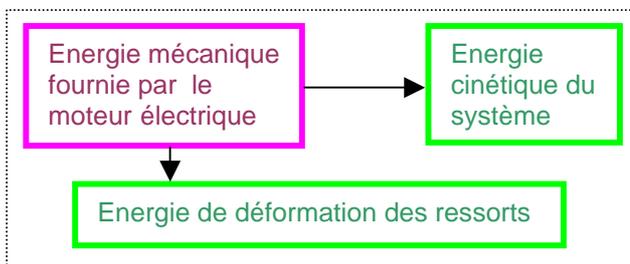


Cette courbe permet de distinguer quatre situation d'échange énergétique :

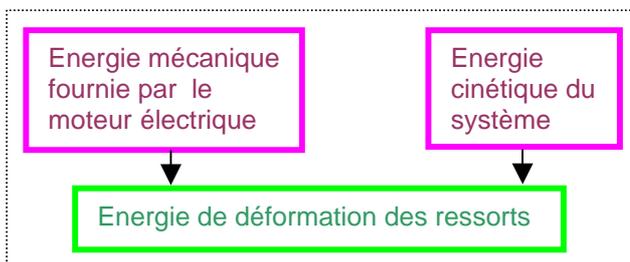
1. Sur les domaines où $P_a(t) = 0$, toute la puissance fournie par le moteur électrique fait croître l'énergie cinétique du système. La vitesse du moteur et celle du réducteur augmentent, leurs couples chutent.



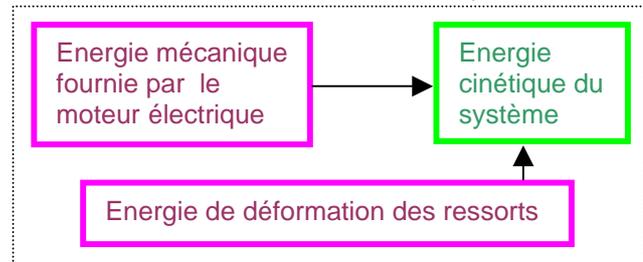
2. Sur les domaines où $P_m(t) > P_a(t) > 0$, la puissance fournie par le moteur électrique est partagée entre les ressorts de fermeture qui se compriment et l'accroissement de l'énergie cinétique du système.



3. Sur les domaines où $P_a(t) > P_m(t) > 0$, le module d'accumulation d'énergie reçoit la puissance mécanique fournie par le moteur électrique et une partie de l'énergie cinétique est transformée en énergie de déformation.



4. Sur les domaines où $P_a(t) < 0$, les ressorts de fermeture restituent de l'énergie au système sous forme d'énergie cinétique. Par ailleurs, toute la puissance fournie par le moteur électrique fait croître l'énergie cinétique du système.



REMARQUE : L'énergie cinétique du système « est constante » (dérivée nulle) aux voisinage des points d'intersection des deux courbes représentatives des fonctions $P_a(t)$ et $P_m(t)$.