

*Collection de notes internes
de la Direction
des Etudes et Recherches*

LIE FR



FR9910013

**Production d'énergie
(hydraulique, thermique
et nucléaire)**

TECHNOLOGIE DES PALIERS EQUIPANT LES GROUPES
TURBO-ALTERNATEURS DU PARC NUCLEAIRE

*THE TECHNOLOGY OF THE BEARINGS USED IN THE
NUCLEAR POWER GENERATION SYSTEM TURBINE
GENERATOR UNITS*

A

30 - 06

97NB00125



DIRECTION DES ÉTUDES ET
RECHERCHES

SERVICE ENSEMBLES DE PRODUCTION
DÉPARTEMENT MACHINES



Gestion INIS
Doc. enreg. le : 12/1/98
N° TRN :
Destination : I,I+D,D

Janvier 1997

VIALETES J.M.
ROSSATO M.



FR9910013

TECHNOLOGIE DES PALIERS EQUIPANT LES GROUPES TURBO-ALTERNATEURS DU PARC NUCLEAIRE

THE TECHNOLOGY OF THE BEARINGS USED IN THE NUCLEAR POWER GENERATION SYSTEM TURBINE GENERATOR UNITS

Pages : 28

97NB00125

Diffusion : J.-M. Lecœuvre
EDF-DER
Service IPN. Département PROVAL
1, avenue du Général-de-Gaule
92141 Clamart Cedex

© EDF 1997

ISSN 1161-0611

SYNTHÈSE :

Un palier est l'ensemble des parties fixes qui permet le mouvement relatif, en rotation ou en translation, de la ligne d'arbres. A l'intérieur du palier est disposé un coussinet, revêtu d'un métal antifricition (régule).

Les rotors des groupes turboalternateurs de grande puissance sont portés par des coussinets lisses transversaux, alimentés en huile qui remplit l'espace libre et s'écoule le long de l'arbre.

Les technologies utilisées pour les paliers et butées de groupe turboalternateurs et les différentes lignes d'arbre des centrales nucléaires françaises de type CP0/CP1 et CP2/1300 MW sont décrites. Puis on expose le retour d'expérience en terme de dynamique de ligne d'arbre (problèmes vibratoires), d'influence du lignage et des incidents de régule.

J.M. VIALETES

M. ROSSATO : EDF/DEPT/Département Maintenance

EXECUTIVE SUMMARY :

A bearing consists of all the stationary parts which allow the relative motion in rotation or in translation, of a shaft line. Inside the bearing is a journal bearing with a metallic antifriction coating (the babbitt metal).

The high power turbine generator unit rotors are supported by smooth transversal journal bearings fed with oil which fills the empty space and runs along the shaft.

The technologies used for the bearings and the thrust bearings of the turbine generator units and the various shaft lines of the French CP0/CP1- and CP2/1300 MW-type nuclear power plants are described. The experience feedback is then discussed in terms of the dynamics of the shaft line, i.e. vibrational problems, the influence of the alignment and the babbitt metal incidents.

TABLE DES MATIERES

1 - GENERALITES	3
1.1 - Terminologie et éléments de lubrification	3
1.2 - Technologie des coussinets et butées	4
1.2.1 - Paliers à coussinets elliptiques	5
1.2.2 - Paliers à coussinets à 3 segments	5
1.2.3 - Dispositif de soulèvement des arbres	6
1.2.4 - Les butées	6
2- LES DIFFERENTES LIGNES D'ARBRES	7
2.1 - La dynamique des lignes d'arbres	7
2.2 - La ligne d'arbres CP0/CP1 : (schémas 10 et 11)	8
2.3 - Les lignes d'arbres CP2/1300 : (schémas 10 et 11)	8
3- LES DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE	9
3.1 - La dynamique des lignes d'arbres	9
3.1.1 - Comportement dynamique des lignes CP2	9
3.1.2 - Evolutions envisagées pour les lignes CP2/1300	10
3.1.3 - Instabilité des paliers faiblement chargés	11
3.2 - Influence du lignage	11
3.3 - Les incidents régule	13
3.3.1 - Les décollements et entraînements de régule	13
3.3.2 - Rupture du film d'huile par défaillance du soulèvement	14
3.3.3 - Rayures sur le régule et les soies d'arbre - passage de corps étrangers - qualité du graissage	14
REFERENCES	15
FIGURES	
Figure 1 - Phénomène de coin d'huile	16
Figure 2 - Coussinet elliptique	17
Figure 3 - Coussinet elliptique	18
Figure 4 - Coussinet à trois coins d'huile	19
Figure 5 - Fabrication d'un coussinet elliptique de diamètre 480 (palier avant HP du CP0/CP1)	20
Figure 6 -	21
Figure 7 - Différents types de butées	22
Figure 8 - Schéma de graissage et de soulèvement	23
Figure 9 - Schéma de graissage et de soulèvement CP2	24
Figure 10 -	25
Figure 11 - Comparaison des charges spécifiques des paliers des différentes lignes d'arbres	26

1 - GENERALITES

1.1 - Terminologie et éléments de lubrification

Un palier est l'ensemble des parties fixes qui permet le mouvement relatif, en rotation ou en translation, de la partie mobile (ligne d'arbres).

La partie de l'arbre en rotation dans un palier doit avoir une surface "lisse". Elle est dénommée "soie" ou "fusée".

A l'intérieur du palier est disposé un coussinet. Le régule, ou métal anti-friction, est déposé sur les coussinets.

Les rotors, des groupes turbo-alternateurs de grande puissance, sont portés par des coussinets lisses transversaux. Les diamètres intérieurs des coussinets sont légèrement supérieurs à ceux des soies d'arbre, il en résulte un certain jeu diamétral de 1,3 à 1,7‰ selon le type.

Lorsque la turbine est à l'arrêt, la ligne d'arbres repose sur la génératrice inférieure de chacun des coussinets. Avant la mise en rotation de la ligne d'arbres, les coussinets sont alimentés en huile qui remplit l'espace libre et s'écoule le long de l'arbre.

Lors de la mise en rotation, l'huile, admise dans l'espace entre la soie d'arbre et les coussinets, est entraînée par la surface de l'arbre en rotation et par effet de viscosité.

En rotation à vitesse nominale, le champ de vitesses de l'écoulement ainsi créé engendre un champ de pressions dont la résultante se traduit par une poussée qui s'oppose au poids de l'arbre.

A technologie de coussinet identique, l'établissement d'un régime stable de fonctionnement dépend des paramètres suivants :

- la vitesse circonférentielle, c.a.d. la vitesse de rotation de l'arbre,
- la charge spécifique qui est fonction de la charge à supporter par le coussinet et de sa dimension,
- la viscosité de l'huile qui dépend du type de l'huile et de sa température de fonctionnement.

Les conditions qui règnent à vitesse nominale sont largement suffisantes pour l'établissement d'un film d'huile stable, et le fonctionnement reste acceptable pour des variations importantes des paramètres précédents. Cependant au-delà de certaines limites le fonctionnement stable n'est plus assuré. Par exemple si la vitesse décroît en dessous d'une certaine valeur la tenue du film d'huile n'est plus assurée, d'où la nécessité de prévoir une circulation forcée (soulèvement). D'autre part une charge spécifique augmentant d'une manière exagérée conduira à une rupture du film d'huile et à la fusion du métal antifricion, et a contrario une diminution en deçà d'une certaine valeur entraînera un régime instable avec un fouettement de l'arbre à une fréquence au environ de la moitié de la fréquence de rotation.

Les coussinets ont des propriétés en ce qui concerne la portance et le comportement dynamique (vibratoire) du palier qui dépendent essentiellement de la géométrie du film d'huile se formant entre la soie d'arbre et le régule : c'est à dire en particulier des jeux entre soie et coussinet. La conception des coussinets contribue à l'obtention des objectifs suivants :

- assurer la stabilité dynamique de la ligne d'arbres et minimiser les amplitudes des vibrations provoquées par les balourds aux différentes conditions de vitesse,
- limiter les températures de régule,
- minimiser les pertes par frottement dans le coussinet (pertes palières) et le débit d'huile nécessaire.

1.2 - Technologie des coussinets et butées

Mode d'accrochage du régule sur les coussinets :

L'alésage du coussinet est recouvert d'un alliage anti-friction, appelé couramment "régule". La composition de cet alliage tient compte des conditions de fonctionnement de la machine.

Le régule est déposé après une préparation de surface du métal de base (étamage à la pâte ou au bain).

Le mode d'accrochage dans les coquilles support peut se faire :

- soit par accrochage mécanique dit "queue d'aronde" (figure 3),
- soit sur une surface lisse étamée (accrochage lisse).

Les facteurs favorables pour l'adhérence sont :

- un support en acier doux, plutôt qu'en acier allié ou en fonte,
- un alliage anti-friction avec un pourcentage de plomb et de cuivre minimum et une certaine teneur en Arsenic,
- une préparation soignée des surfaces, par un dégraissage, nettoyage et étamage
- le mode de dépôt du régule.

A la suite de l'opération de réglage, un premier alésage est effectué, suivi d'un contrôle par ultrasons afin de s'assurer du parfait accrochage du régule.

L'accrochage lisse permet un meilleur contrôle.

Aujourd'hui les procédés de réglage recommandés incluent le double étamage au bain et le dépôt du régule par centrifugation.

Les types de palier sur les machines du parc nucléaire :

On distingue 2 types principaux : les paliers à coussinets elliptiques (ou citrons) et accrochage mécanique équipant des machines du CP0/CP1, les paliers à coussinets à segments multiples oscillants (ou paliers à 3 patins) et accrochage lisse équipant les machines du CP2/1300, N4, et quelques machines du CP0/CP1.

1.2.1 - Paliers à coussinets elliptiques

Ils sont constitués par deux demies-coquilles en acier forgé se raccordant suivant un plan horizontal.

La partie extérieure peut comporter :

- soit une portée sphérique (figure 2) qui permet, lors du montage, un bon alignement de la portée du coussinet avec la soie de l'arbre. La possibilité de réglage radial est assurée par des cales montées sur l'anneau intermédiaire sous lesquelles l'on peut insérer des clinquants de réglage.
- soit des cales (figure 3, rep. 1, 2 et 5) qui permettent le réglage radial ; dans ce cas la pente du palier doit être rigoureusement identique à celle de la soie de l'arbre, afin d'obtenir un bon portage de la soie dans le coussinet.

Pour obtenir les jeux de l'alésage dit en "citron" les opérations d'usinage sont réalisées de la façon décrite sur la figure 5 (l'exemple proposé est celui de la réalisation d'un coussinet de diamètre 480).

Phase 1 : Alésage d'ébauche.

Phase 2 : Intercaler au joint horizontal 1 cale d'épaisseur. Recentrer le coussinet puis l'aléser de manière à ce qu'il reste 2 bandes de portage cylindrique en haut et en bas du coussinet.

L'usinage est réalisé sur la largeur des coins d'huile, c'est à dire 80% de la longueur utile, en laissant subsister 10% à chaque extrémité des portées cylindriques au diamètre de la soie d'arbre.

Nota : Les coussinets à 3 coins d'huile, ou à lobes, ou multi-patins, ne font pas partie de cette présentation car n'étant pas utilisés dans le cadre des grandes Turbines à vapeur du parc nucléaire.

Les coussinets à 3 coins d'huile ont été utilisés sur des machines du thermique classique, par exemple les 250 MW CEM (machine tête de série CHAMPAGNE).

1.2.2 - Paliers à coussinets à 3 segments

L'emploi des paliers à coussinets à 3 segments est utilisé dans les groupes turbo-alternateurs de forte puissance, principalement en raison de leur grande capacité de charge et des pertes palières relativement plus faibles.

Ce coussinet (figure 6) est constitué d'une couronne support (rep. 1) en 2 parties boulonnées selon un plan incliné à 15° par rapport à l'horizontale.

Cette couronne porte les 3 segments régulés (rep. 2, 3, 4) qui sont de taille inégale. Les segments inférieur et latéral (rep. 2 et 3) permettent un certain degré de liberté par basculement sur l'emboîtement du plateau oscillant (rep. 10). Le segment supérieur (rep. 4) est fixé par l'intermédiaire d'un dispositif élastique (rep. 6) permettant de plus un déplacement radial.

Le jeu existant entre l'arbre et le segment supérieur est très faible (de 0,10 à 0,15 mm pour un arbre de diamètre 500). En fonctionnement le dispositif élastique (rep. 6) absorbe les déplacements verticaux de l'arbre.

L'huile en provenance du circuit d'alimentation circule entre la couronne support (rep. 1) et le palier.

Pour modifier le centrage des arbres le réglage des segments se fait en insérant des cales (rep. 11) entre la couronne (rep. 1) et le plateau oscillant. Ces réglages sont très délicats et doivent être faits avec beaucoup de soins. Dans tous les cas un étrier immobilise le coussinet dans le palier avec un serrage de 0,01 à 0,03 mm, ce qui évite le matage de la rotule ou des cales.

1.2.3 - Dispositif de soulèvement des arbres

Cette disposition est toujours adoptée pour les coussinets chargés dans les cas où la ligne d'arbres fonctionne à très basse vitesse, c'est à dire lorsque le film d'huile n'est pas formé : lors des démarrages et arrêts et pendant les périodes de virage.

Pour les coussinets lisses elliptiques une ou deux poches sont usinées dans le régule sur la génératrice inférieure suivant la longueur de la soie et la charge du coussinet.

Pour les coussinets à segments, suivant la longueur de la soie et la charge du coussinet, le segment inférieur est muni de 2 ou 4 poches et le segment latéral de 1 à 2 poches.

Chaque poche est alimentée par une arrivée d'huile haute pression (100 à 400 bar, en stabilisé, pour certaines machines) délivrée par une pompe volumétrique.

Le soulèvement permet le décollement de la ligne d'arbres au démarrage et limite l'effort de mise en rotation. Pour obtenir de bons résultats il est important que les usinages soient réalisés avec soin, que les soies ne présentent pas de rayures ou de déformations, que la portée de la soie dans le coussinet ou sur les segments soit aussi bonne que possible (réglage des segments et du support).

Des précautions particulières sont à observer pour réaliser l'admission d'huile haute pression. Pour éviter le décollement du régule, l'étanchéité du canal d'arrivée doit être parfaitement assurée à l'interface régule, coquille acier.

1.2.4 - Les butées

Lors de la détente de la vapeur dans les étages, la majeure partie du travail est délivré sous forme de couple. Il subsiste toutefois un effort axial dont la valeur varie avec la caractéristique de chacun des ailetages et leur assemblage sur la ligne d'arbres, et le niveau de charge.

Dans le cas des turbines de forte puissance on s'efforce d'équilibrer les rotors en opposant les flux 2 à 2 (par exemple les rotors "diabolo"). Néanmoins, même si l'équilibre est théoriquement réalisé, on installe toujours une butée mécanique car il y a généralement une poussée résiduelle, et en situation incidentelle le rotor doit être maintenu en place.

Il est nécessaire de prévoir un dispositif capable de reprendre cet effort axial dans toute la gamme de valeur.

Du fait que cette poussée peut changer de sens, on utilise un système butée, contre-butée.

La figure 7 illustre les différents types de butées utilisées.
L'alimentation en huile est réalisée par le circuit principal des paliers.

2- LES DIFFERENTES LIGNES D'ARBRES

2.1 - La dynamique des lignes d'arbres

La ligne d'arbres d'un groupe Turbo-Alternateur est une structure élancée en rotation. Ses propres défauts d'axisymétrie (balourds) génèrent des forces excitatrices tournantes. Sa souplesse et les grandes inerties mises en rotation en font un système résonant à basse fréquence dont il est indispensable de maîtriser le comportement dynamique pour disposer d'un moyen de production fiable.

La manifestation principale de la dynamique d'une ligne d'arbres est la présence des vitesses critiques. En exploitation elles sont caractérisées par les niveaux vibratoires élevés atteints par la ligne d'arbres quand sa vitesse de rotation passe par leurs valeurs au cours d'un démarrage ou d'un arrêt.

La qualité vibratoire d'un GTA est fonction de l'amortissement de ses vitesses critiques. Ce paramètre représente la capacité du système mécanique à limiter ses amplitudes vibratoires critiques. Il est obtenu par la dissipation d'énergie dans les films fluides des paliers, mais peut-être contrarié par des phénomènes d'instabilité dus à l'hydrodynamique du fluide.

Une vitesse critique trop faiblement amortie, conduisant à des niveaux vibratoires élevés peut avoir des conséquences graves pour l'exploitation :

- crises vibratoire rendant l'exploitation délicate,
- dégradation des coussinets,
- dégradations des étanchéités par contact entre les parties mobiles et fixes qui obligent de prévoir des jeux agrandis et donc des débits de fuite importants,
- une maintenance préventive plus lourde et coûteuse.

D'autre part le comportement dynamique d'une ligne d'arbres en marche normale peut être rendu plus sensible à la plupart des anomalies mécaniques (frottements, défauts de lignage, balourds, ...) par un faible amortissement des structures palières.

2.2 - La ligne d'arbres CP0/CP1 : (schémas 10 et 11)

C'est une ligne d'arbres dite "2 paliers par rotor", c'est à dire un à l'avant et un à l'arrière de chaque rotor. Les diamètres des soies d'arbre et donc des coussinets vont de 480 mm à 670 mm pour les paliers Turbine et à 710 mm pour les paliers Alternateur.

Les coussinets sont de type "citron" avec une arrivée d'huile et un système de soulèvement en partie basse pour les basses vitesses et l'arrêt de la machine.

D'une manière générale les coussinets sont à accrochage mécanique mais on peut trouver des coussinets à accrochage lisse.

Les lignes d'arbres présentent un bon comportement dynamique au passage des vitesses critiques (bon amortissement). De plus il faut noter que l'exploitation n'a pas nécessité d'équilibrage sur site.

En revanche les lignes d'arbres nécessitent un suivi du lignage pour éviter les risques de fissuration transverse des rotors.

2.3 - Les lignes d'arbres CP2/1300 : (schémas 10 et 11)

Raisons ayant conduit à l'utilisation de coussinets à segments multiples sur les groupes Turbo-Alternateurs CP2/1300 :

L'accroissement de la taille des machines, associé à un concept "1 palier par arbre", a rendu peu opportune l'utilisation de coussinets classiques, du type elliptique, à cause des vitesses périphériques atteintes par les soies des arbres. Lorsque l'écoulement dans le film d'huile quitte le régime laminaire pour rentrer dans le régime turbulent, les pertes palières s'accroissent très rapidement. Ce phénomène se manifeste de façon plus précoce dans le cas de machines à un coussinet par arbre puisque les diamètres des soies sont, toutes choses égales par ailleurs, plus importants que dans la solution à deux coussinets par rotor.

La solution à un palier par rotor présente l'avantage de réduire les conséquences d'un délignage en limitant les reports de charge d'un coussinet sur son voisin.

Les coussinets à segments multiples présentent aussi l'avantage d'une zone de stabilité beaucoup plus étendue, en fonction de la charge, que les coussinets classiques.

Pour toutes les lignes d'arbres CP2/1300 le mode d'accrochage du régule est à accrochage lisse. Elles sont de technologie dite "1 palier par rotor", c'est à dire un palier à l'avant de chaque rotor.

Les paliers sont de type à 3 patins avec une arrivée d'huile sur chaque patin et un système de soulèvement sur les coussinets porteur et latéral pour les basses vitesses et l'arrêt de la machine.

Ligne d'arbres CP2 sauf CHINON B3/4 :

Les diamètres des soies d'arbre et donc des coussinets sont 400 mm et 900 mm pour les paliers Turbine et 900 mm et 630 mm pour les paliers avant et arrière Alternateur (à noter la présence d'un petit palier de diamètre 315 mm pour l'excitatrice).

Ligne d'arbres CHINON B3/4 :

Les différences concernent l'alternateur et l'adjonction d'un palier arrière BP2 de diamètre 800 mm. L'adjonction de ce palier est consécutif à la technologie des Alternateurs à flasque-palier : la capacité du palier, dans son dessin d'origine, ne permet pas de reprendre le poids du dernier BP.

Il permet d'améliorer sensiblement le comportement dynamique de la ligne d'arbres.

Ligne d'arbres 1300 :

Les diamètres des soies d'arbre et donc des coussinets sont 425 mm et 900 mm pour les paliers Turbine sauf l'arrière BP3. Comme pour les lignes d'arbres de CHINON B3/4 un palier à l'arrière du dernier BP a été rajouté.

Les diamètres des coussinets arrière BP3 et Alternateur sont de 800 mm.

3- LES DONNEES DU RETOUR D'EXPERIENCE

3.1 - La dynamique des lignes d'arbres

3.1.1 - Comportement dynamique des lignes CP2

Dès leur mise en service, les groupes du palier 900 CP2 ont donné des inquiétudes du fait de leur comportement dynamique plus particulièrement caractérisé par :

- des difficultés d'équilibrage in situ compte tenu de la mauvaise répétabilité des niveaux vibratoires pour un même état de référence,
- la sensibilité des machines aux conditions de fonctionnement avec apparition de crises vibratoires,
- des niveaux vibratoires relativement élevés en marche normale ou au passage des vitesses critiques (jusqu'à 500 μm).

Ces anomalies présentaient deux inconvénients majeurs :

- augmentation du risque d'indisponibilité de la turbine en accentuant le nombre et l'importance des incidents de ligne d'arbres (coussinets, butée, touches radiales, touches aux boîtes étanches, déflecteurs d'huile),
- interprétation difficile des indications perturbées fournies par le système de surveillance vibratoire des lignes d'arbres qui doit permettre précisément par "modification de signature" de détecter l'amorçage et l'évolution d'une fissuration transverse du rotor.

La constitution d'un groupe de travail GEC-ALSTHOM et EDF a permis de définir l'origine des anomalies et de lancer plusieurs actions correctives actuellement réalisées sur l'ensemble des groupes CP2 et dont une partie a été étendue sur le 1300.

Les anomalies provenaient essentiellement :

- du manque d'amortissement de la ligne d'arbres résultant de sa conception à "1 palier par rotor",
- de la présence de la deuxième vitesse critique horizontale de l'Alternateur à proximité de la vitesse de rotation,
- du manque de rigidité horizontale de la fixation des chaise-paliers sur le massif,
- de la perte de concentricité des plateaux d'accouplement sous l'effet des variations élevées des couples transmis en transitoire.

Sans toucher à la structure proprement dite de la ligne d'arbres (maintien du concept "1 palier par rotor" et du type de coussinet), les actions correctives ont permis d'améliorer sensiblement et de manière satisfaisante le comportement initial des machines :

- en augmentant la rigidité horizontale des chaise-paliers par la mise en place de cales coniques sous les plaques de base,
- en augmentant les jeux au niveau des étanchéités arbre-stator HP et BP,
- en modifiant le mode de liaison des plateaux d'accouplement par la mise en place de lacets à jeu nul.

Nota concernant la raideur de la chaise palier des CP2-1300 :

Dans le cas des machines CP0-CP1, la chaise palier repose sur la plaque de base. Dans le cas des machines CP2-1300, la chaise palier est maintenue par des tirants sur chandelles entraînant une faible rigidité dans le sens horizontal.

La DER a mis en évidence sur le palier CP2 une déformée modale alternateur proche de la vitesse nominale dans le sens horizontal, situation inacceptable vis à vis des crises vibratoires. En vertical la situation était tout à fait satisfaisante (déformée modale tout à fait éloignée de la vitesse de rotation).

Cette constatation a conduit à la mise en place de cales coniques pour rigidifier la liaison entre la chaise palier et la structure de génie civil pour les machines CP2-1300.

Aussi est-il important de vérifier le bon serrage de ces cales coniques à chaque visite du palier associé.

De la même manière il est nécessaire de contrôler le bon serrage des tirants servant à maintenir les chaises palier sur leur plaque de base.

3.1.2 - Evolutions envisagées pour les lignes CP2/1300

A l'occasion des problèmes de comportement lors du démarrage des lignes d'arbres CP2-1300, des modélisations ont été réalisées par GEC ALSTHOM et EDF/DER de l'ensemble rotors, appuis et structures de génie civil prenant en compte les termes d'amortissement. Ces modélisations ont permis d'appréhender les notions de coefficients d'amplification

directs ou croisés (γ direct ou croisé) : c'est à dire l'influence d'un excentrement d'un rotor sur lui-même ou sur les autres et ceci à la vitesse critique.

Ces modélisations ont permis d'envisager, dans le cas des machines CP2-1300, des solutions palliatives visant à créer de l'amortissement :

- la mise en place d'un palier supplémentaire,
- la modification de la technologie du coussinet (palier à 3 lobes fixes ou palier à patins symétriques),
- mise en place d'un "amortisseur magnétique" actif au passage des critiques en créant localement un effort piloté de 30 t au niveau des plateaux d'accouplement.

Aucune de ces solutions n'a été mise en oeuvre et il n'y a pas lieu de rechercher d'autres améliorations, autres que celles décrites au paragraphe 3-1-1, car on s'est assuré que, pour le passage des vitesses critiques, les amplitudes des vibrations ne conduisaient pas à des contraintes excessives au sens de l'endommagement des rotors.

3.1.3 - Instabilité des paliers faiblement chargés

Dans le cas des machines à 2 paliers par arbre et lorsque les paliers sont très rapprochés, le phénomène d'instabilité peut intervenir lorsqu'un palier se trouve déchargé. Pour les coussinets déchargés, l'épaisseur du film d'huile augmente et au-delà d'une certaine valeur la position limite de stabilité peut être dépassée : il y a fouettement du rotor dans le coussinet. Ceci se traduit, sur le signal de vibrations du rotor, par une raie vibratoire caractéristique située légèrement en dessous de la moitié de la vitesse de rotation de la machine.

On peut citer le cas des machines de CREYS MALVILLE où des crises vibratoires sont apparues à la suite d'un pompage de la température de l'huile (défaut de régulation).

Cas particulier des petits coussinets d'extrémités (en général situé dans le capot de palier avant ou à l'arrière en tant que palier arrière excitatrice) :

Lorsque le film d'huile s'établit, du fait d'une valeur de soulèvement supérieure, le coussinet principal, qui porte le rotor principal, a tendance à imposer sa position au petit coussinet d'extrémité. D'où un risque d'instabilité de ce coussinet.

Pour limiter ce risque, on stabilise les petits coussinets d'extrémités en leur imposant une précontrainte.

3.2 - Influence du lignage

Pour minimiser le niveau de contrainte moyen, le principe retenu pour le lignage des machines du parc EDF, est un lignage selon "la chaînette naturelle des rotors". Les appuis sont calés et les plateaux d'accouplement sont alignés et rendus parallèles de façon à ce qu'il n'y ait aucun effort parasite induit au moment du serrage des plateaux d'accouplement et ceci pendant le fonctionnement.

D'où une vérification du parallélisme et de la concentricité des plateaux d'accouplement dans le cadre des machines à deux paliers par rotors, et une vérification du simple parallélisme dans le cadre des machines à un palier par rotor (le centrage des plateaux étant assuré par la conception de l'accouplement).

La chaînette théorique est d'autant plus creuse que les rotors sont flexibles. Aussi en règle générale la flexibilité est la plus forte pour les rotors à disques frettés (machines CP0/CP1) et la moins forte pour les rotors soudés à réaction (CP2-1300). D'autre part on cherche à obtenir la chaînette théorique non pas à froid mais aux conditions nominales de fonctionnement (en température et sous vide) pour le CP2/1300. Pour le CP0/CP1, c'est un lignage de compromis entre la situation de virage et les conditions nominales de fonctionnement et ceci en raison de la technologie à rotors frettés.

La température entraîne des différences de dilatation thermique des structures de génie civil et le vide provoque des déformations variables selon le type de liaison entre le condenseur et la boîte d'échappement. La situation de montage et de réglage doit anticiper ces déformations.

Les déformations des appuis, par des tassements de génie civil, un fluage de traverse, une déformation de traverse par des effets thermiques ou des efforts de pression ou par des efforts de dilatation des structures sont susceptibles d'entraîner un décalage entre les paliers avec surcharge de certains coussinets et sous-charge de coussinets adjacents.

D'où les risques suivants si l'on n'effectue pas les corrections de lignage :

- risque d'entraînement de régule sur le palier surchargé,
- comportement dynamique altéré par l'allègement d'un palier (voir "instabilité" au paragraphe 3-1-3) ou l'effet "manivelle" induit sur les paliers de part et d'autre des plateaux d'accouplement par une mauvaise concentricité des plateaux.

Cas particulier du réglage (ou lignage des coussinets) des paliers Alternateur par rapport aux soies d'arbre du 1300 :

Dans leur conception d'origine, les coussinets à trois segments sont montés sans rotule entre l'anneau-support des segments et la chaise-palier. C'est la disposition habituelle pour les Turbines de la technologie BBC (ou pour nous ex CEM).

Les Alternateurs 1300 MW utilisent par contre des coussinets à trois segments avec montage à rotule. Ce montage à rotule a pour objet de faciliter les opérations de lignage, après quoi les rotules sont bloquées en position. Il ne s'agit donc pas de coussinets pouvant avoir un mouvement de rotule en fonctionnement.

La conséquence de cette technologie un peu particulière est la possibilité de basculement du coussinet et donc son dérèglement dans certains cas particuliers. Il convient donc de se prémunir contre les risques évoqués :

- Les dilatations de la ligne d'arbres

Après le remontage de la machine il est important de remettre le soulèvement en service dès que possible afin de ne pas contrarier les dilatations des rotors pour diverses causes même anodines (échauffement du condenseur, ou vidange et remplissage avec une eau de température un peu différente par exemple). Si cela

n'est pas possible ou difficile, on pourra noter la bonne pratique de certains sites qui consiste à remettre en service le soulèvement régulièrement (au moins 1 fois par quart) palier par palier, en commençant par le palier arrière Alternateur et en terminant par le palier N°1.

- Toute variation de pression d'hydrogène de l'alternateur provoque des déformations élastiques des paliers flasques qui entraînent un basculement du coussinet.

3.3 - Les incidents régule

De multiples causes aboutissent à la dégradation des coussinets d'un groupe turboalternateur. Ces dégradations vont d'ailleurs d'un simple état de surface à reprendre jusqu'à la destruction du coussinet et la nécessité de réusinier les soies d'arbre assez profondément.

Nous avons vu, par exemple, que les mauvais réglages, les basculements de coussinets ou la charge excessive due à des vibrations, pouvaient entraîner une rupture du film d'huile et une dégradation du régule.

C'est pourquoi les recommandations habituelles ont toute leur importance. On peut citer notamment le suivi des températures, de chacun des paliers et l'écart entre température avant et arrière, en fonctionnement stable ou pendant les transitoires, et la mesure du couple de décollement, de la hauteur et des pressions de soulèvement, à chaque remise en virage des lignes d'arbres.

3.3.1 - Les décollements et entraînements de régule

Le problème évoqué a été une donnée du retour d'expérience de la première période de fonctionnement des machines des paliers CP2 et 1300. Il a fortement influencé les programmes de maintenance systématique sur les paliers et a conduit à quelques indisponibilités fortuites de machine.

Une soixantaine d'événements a été recensée de 83 à 91 (entraînements ou décollements de régule, jusqu'à des indications de décollements au cours des contrôles pendant les révisions et ayant conduit au rebut des segments en cause), dont les 2/3 sur des patins porteurs pour lesquels la charge spécifique est la plus forte (30 bar).

On peut citer l'exemple de l'incident de CRUAS 2 fin 84 : destruction du coussinet arrière Alternateur par détachement du régule et dégradations importantes des soies d'arbre ayant nécessité leur réusinage. Cet incident montre bien l'importance du procédé de réglage et justifie nos exigences quant au procédé de fabrication des coussinets.

En général les décollements ont été observés autour des buses de soulèvement ou au voisinage de celles-ci.

Cette situation est en voie d'amélioration à la suite des mesures suivantes :

- amélioration du procédé de réglage. On obtient une meilleure caractéristique métallurgique du régule à l'interface avec l'acier et ainsi un meilleur accrochage,

- contrôle du collage des buses de soulèvement (à vérifier à chaque visite de palier).

3.3.2 - Rupture du film d'huile par défaillance du soulèvement

Une défaillance du soulèvement pendant les phases de démarrage ou d'arrêt et de virage peut se traduire par la dégradation du régule et la nécessité d'une réparation à plus ou moins brève échéance.

La défaillance de la fonction soulèvement peut-être due à :

- la rupture d'une tuyauterie de soulèvement (ex. SLB 1 en 83),
- la programmation de certains EP pendant les périodes de virage et conduisant à des basculements de source,

D'autre part la dilatation de la ligne d'arbres sans soulèvement peut s'apparenter à une perte du soulèvement. Pour les lignes d'arbre 1300, celle-ci s'accompagne d'un basculement des paliers Alternateur : exemple de la destruction du palier arrière de Paluel 1 en 82 après rotulage.

3.3.3 - Rayures sur le régule et les soies d'arbre - passage de corps étrangers - qualité du graissage

Cette dernière catégorie d'incidents ne doit pas être négligée. Elle conduit à des endommagements qui peuvent être sévères et qui s'amplifient avec le temps de fonctionnement.

La perturbation du film d'huile s'aggrave avec l'importance des rayures.

D'autre part des incrustations de corps étrangers dans le régule conduisent à des rayures sur les soies d'arbre pouvant aller jusqu'à la nécessité de les reprendre par usinage.

Les circuits de graissage ne comprennent pas de filtre entre les pompes et les paliers pour éviter les risques de perte de la fonction graissage par colmatage des filtres. Aussi il est important de s'assurer de la propreté des chantiers sur les paliers, sur les parties du circuit de graissage, de l'huile au redémarrage de l'installation après révision par des filtrations provisoires.

En dernier lieu la qualité de l'huile de graissage fait l'objet d'une norme EDF (HN 20S30) et d'instructions complémentaires demandant des contrôles réguliers et une remise à niveau en cas de dépassement, ou le non respect, de certains paramètres.

On peut citer par exemple l'indice acide pour lutter contre l'oxydation des circuits et l'entraînement de produits de corrosion, la présence d'un taux minimum d'anti-oxydants, et le moussage à l'origine de la chute de pression au refoulement des pompes de graissage.

Enfin, il faut noter l'interdiction de réaliser des traitements chimiques des huiles de graissage.

REFERENCES

- [1] Durée de vie Tranches REP
Rapport de constat "Turbines" - Révision 1
Ref. 94.5411 - Janvier 1994

- [2] Les Turbines - Recueil d'expérience
EUREQUIP et Département Maintenance Branche Turbines
Août 1993

- [3] Document Pédagogique de M. MALHERBES pour le stage 2620 "Ingénieurs
Entretien", Module "Machines Tournantes", Tome 1

- [4] Comptes rendus des réunions annuelles Turbines Principales du parc REP

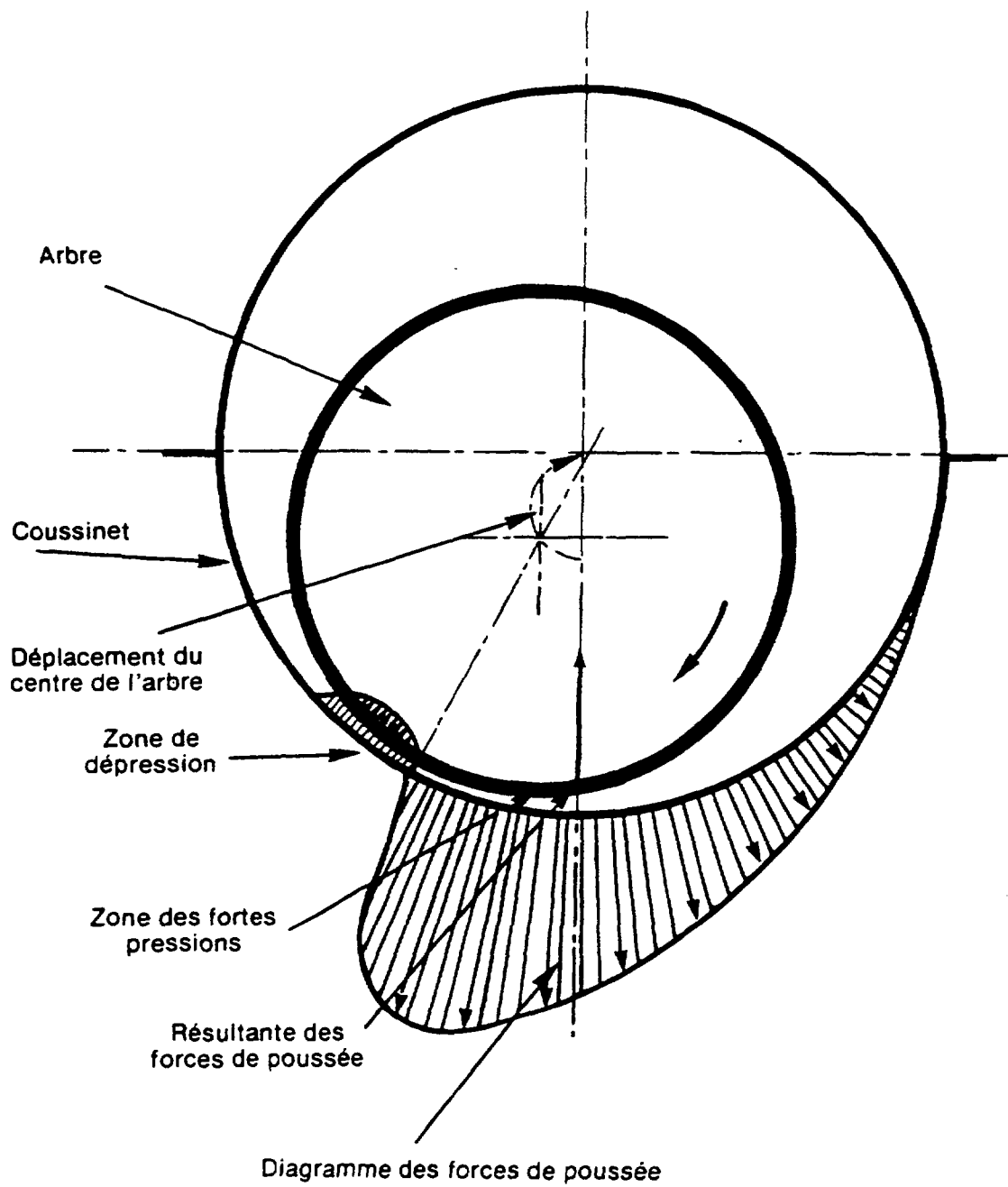
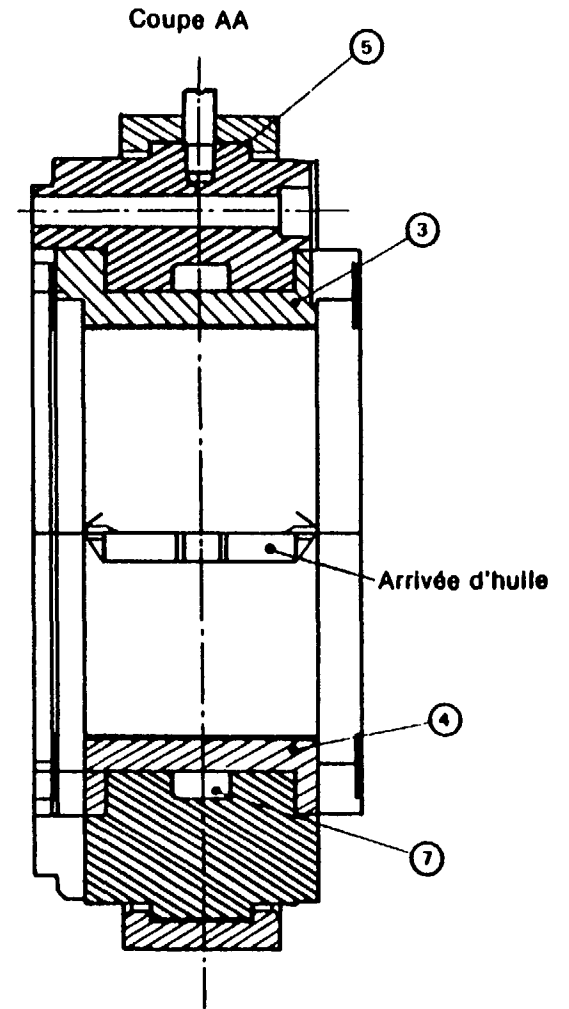
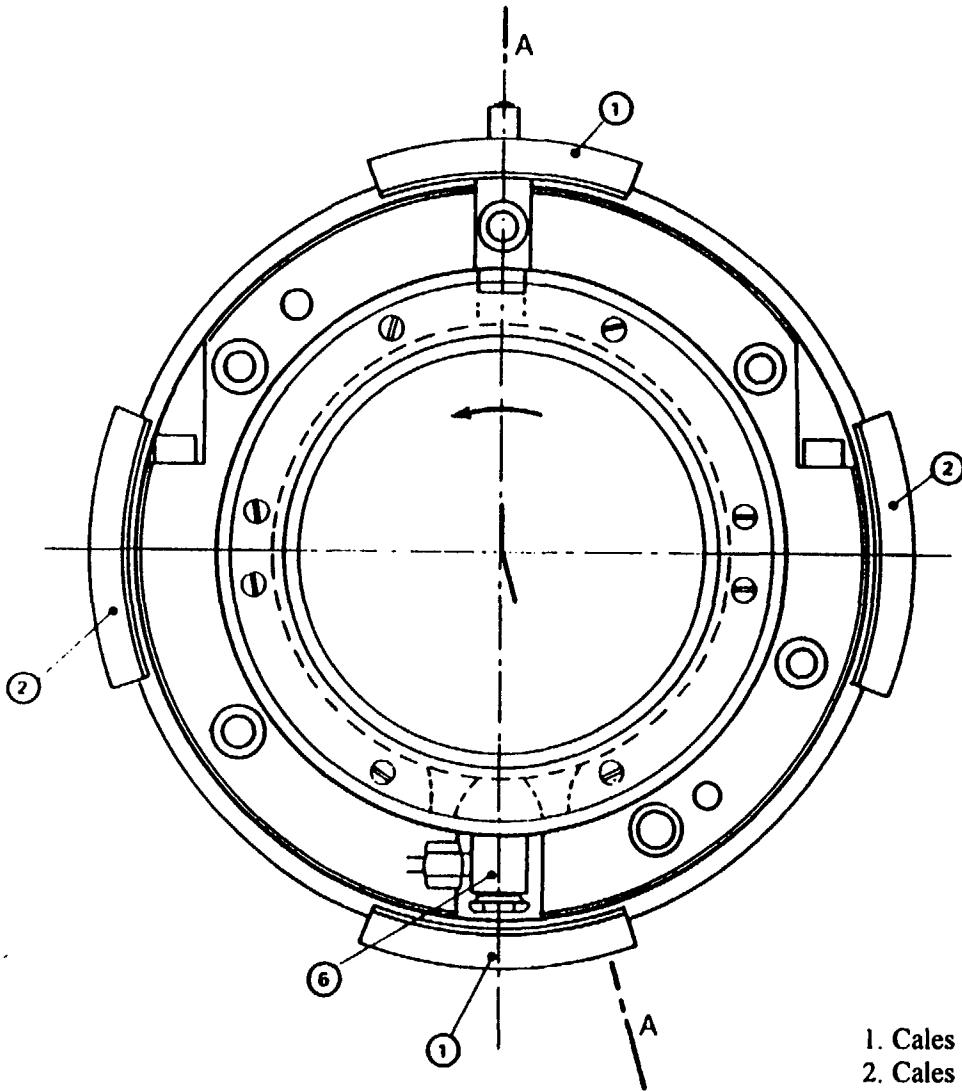


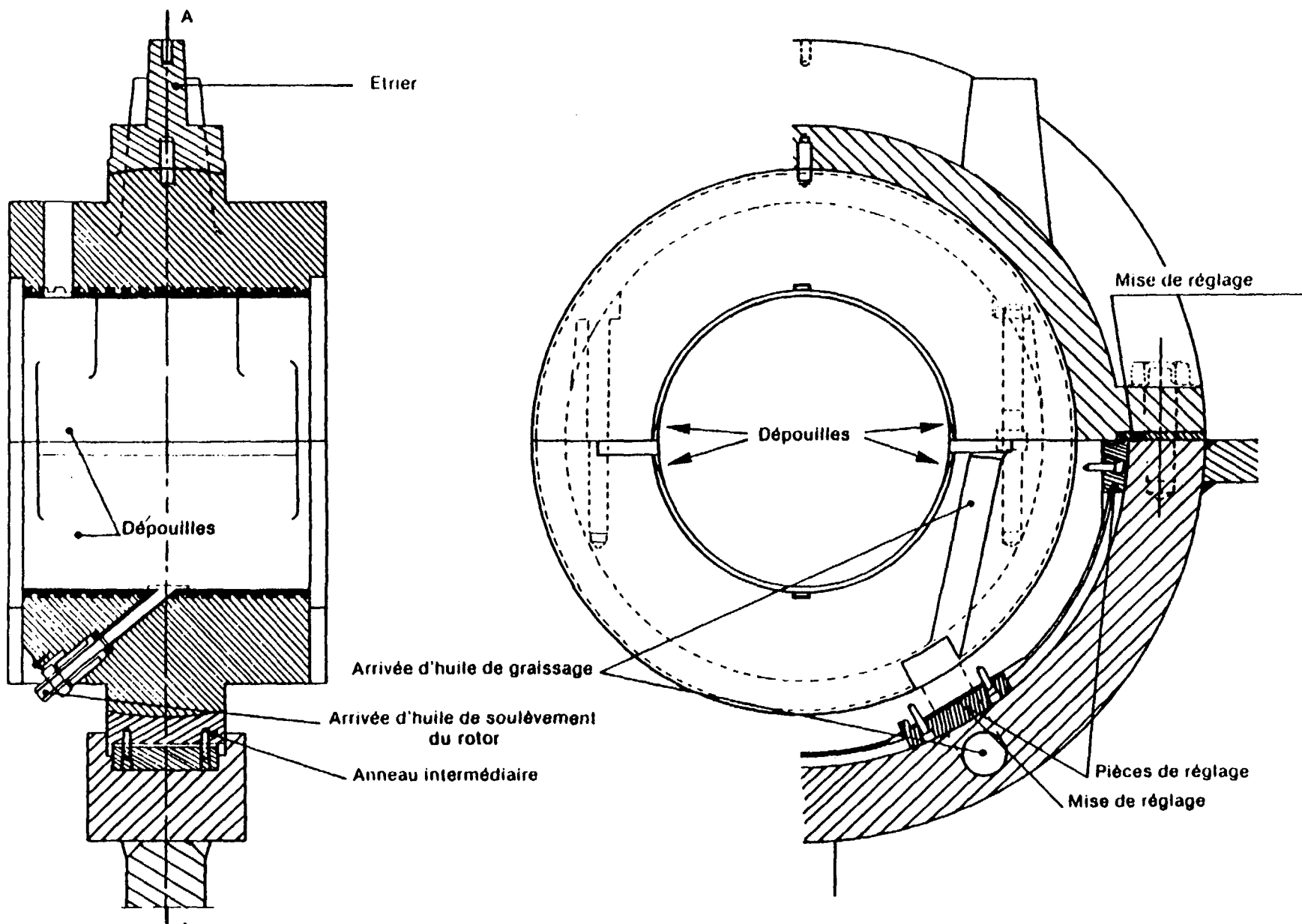
Figure 1 - Phénomène de coin d'huile

Figure 2 - Coussinet elliptique



1. Cales de réglage vertical
2. Cales de réglage horizontal
3. Coquille réglée supérieure
4. Coquille réglée inférieure
5. Mise pour réglage fin
6. Arrivée d'huile HP (soulèvement)
7. Canal d'arrivée d'huile de graissage

Figure 3 - Coussinet elliptique



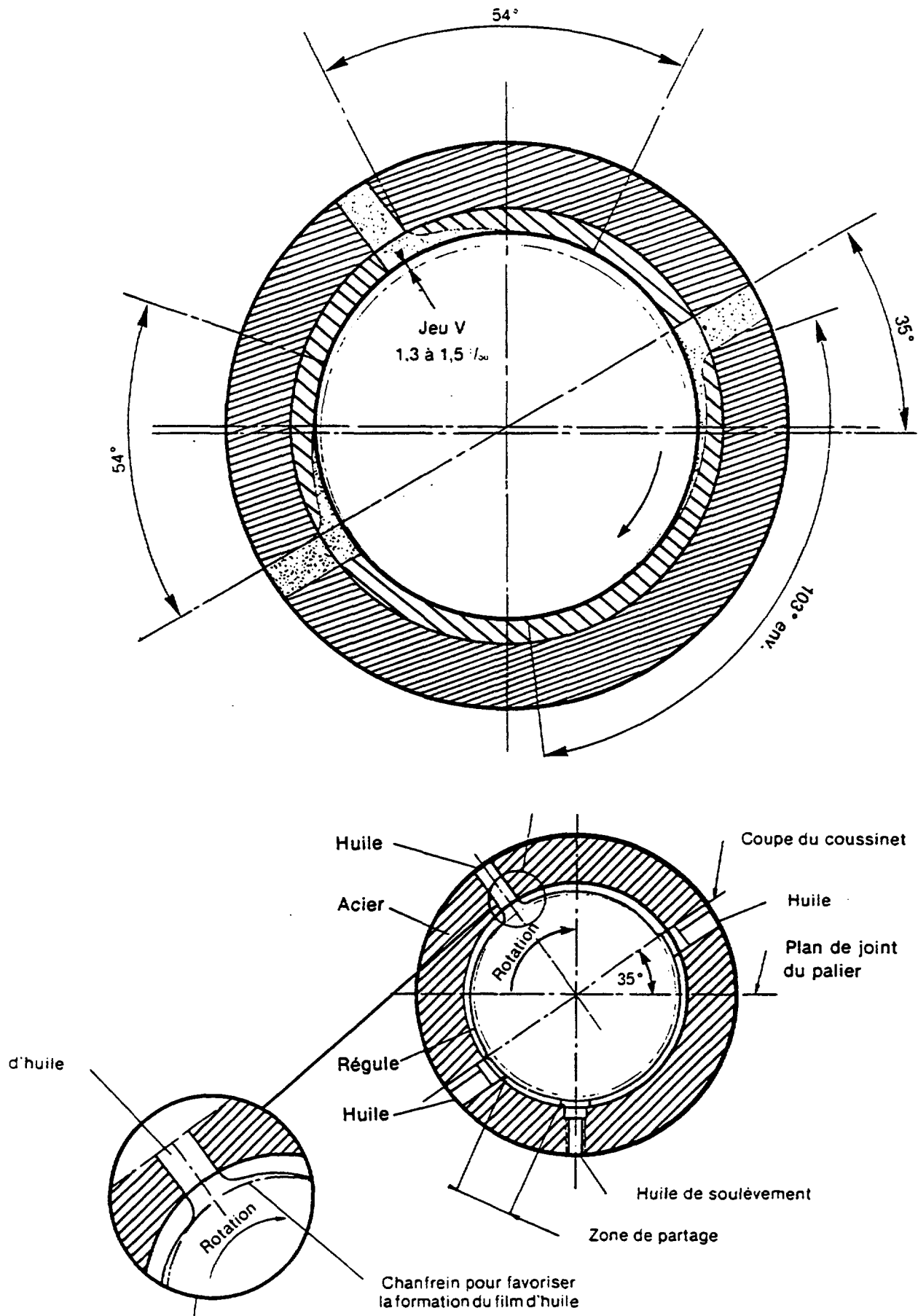


Figure 4 - Coussinet à trois coins d'huile

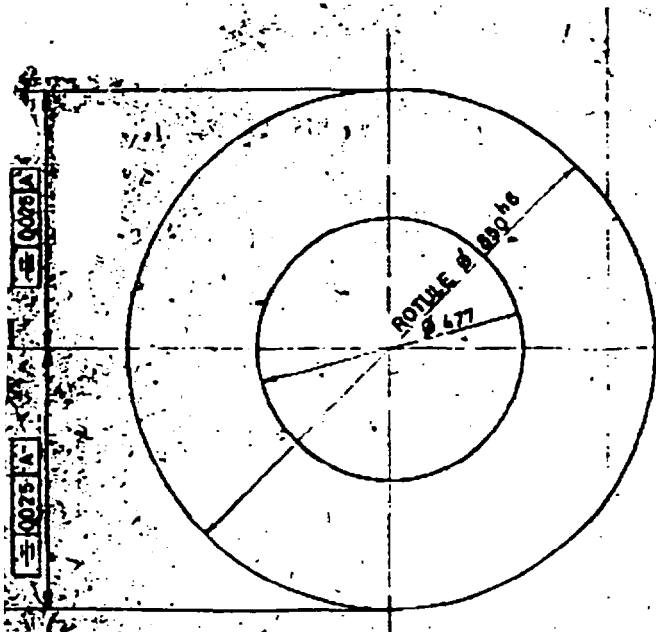
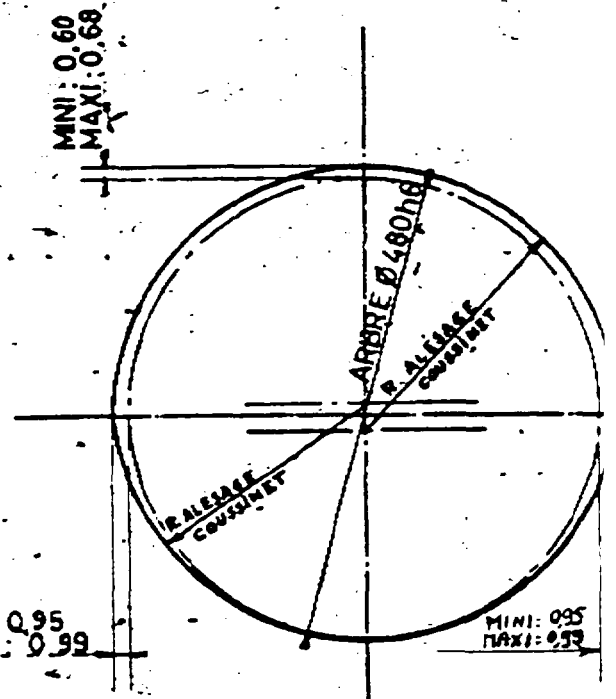
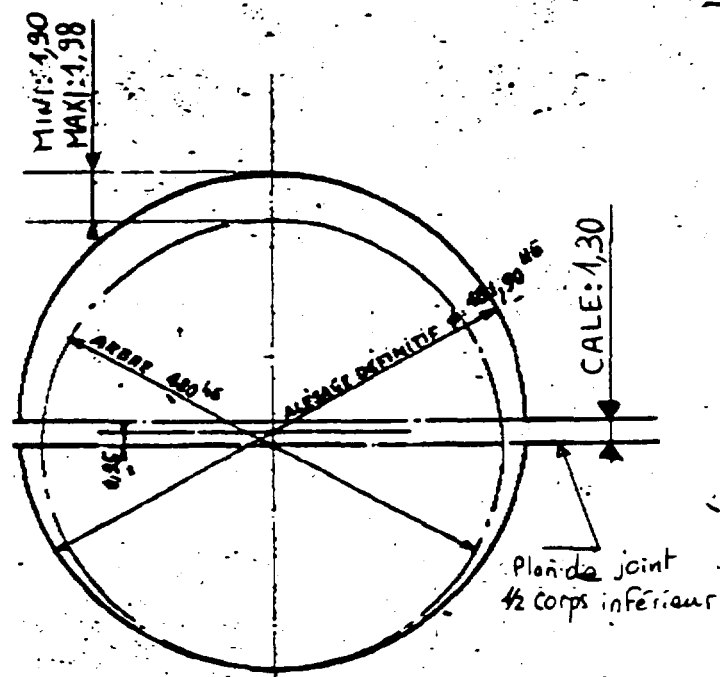


Figure 5

Fabrication d'un coussinet elliptique de diamètre 480 (palier avant HP du CP0/CP1)

1° ALESAGE PROVISOIRE ET ROTULAGE

FRASER LES JOINTS, PERCER, TARAUDER LES TROUS D'ASSEMBLAGE
 CENTRER SUR LE PLAN DE JOINT
 EBAUCHER L'ALESAGE AU Ø 477
 ROTULER DANS L'AXE DE CET ALESAGE AU Ø 850 h6 DEFINITIF
 TOLERANCE DE POSITION DE L'AXE DE LA ROTULE PAR RAPPORT A L'AXE COUSSINET ± 0,1



ALESAGE DEFINITIF AVEC CALE DE 1,30

SITUER L'AXE DE L'ALESAGE DEFINITIF A 0,95 AU-DESSUS DU PLAN DE JOINT DU DEMI-COUSSINET INFERIEUR
 INTERCALER UNE CALE DE 1,30
 ALESER AU Ø 481,90 H6
 USINAGE DE LA POCHE DE SOULEVEMENT
 USINAGE DES RAINURES AXIALES

3° MONTAGE

ENLEVER LA CALE DE

Figure 5 - Fabrication d'un coussinet elliptique de diamètre 480 (palier avant HP du CP0/CP1)

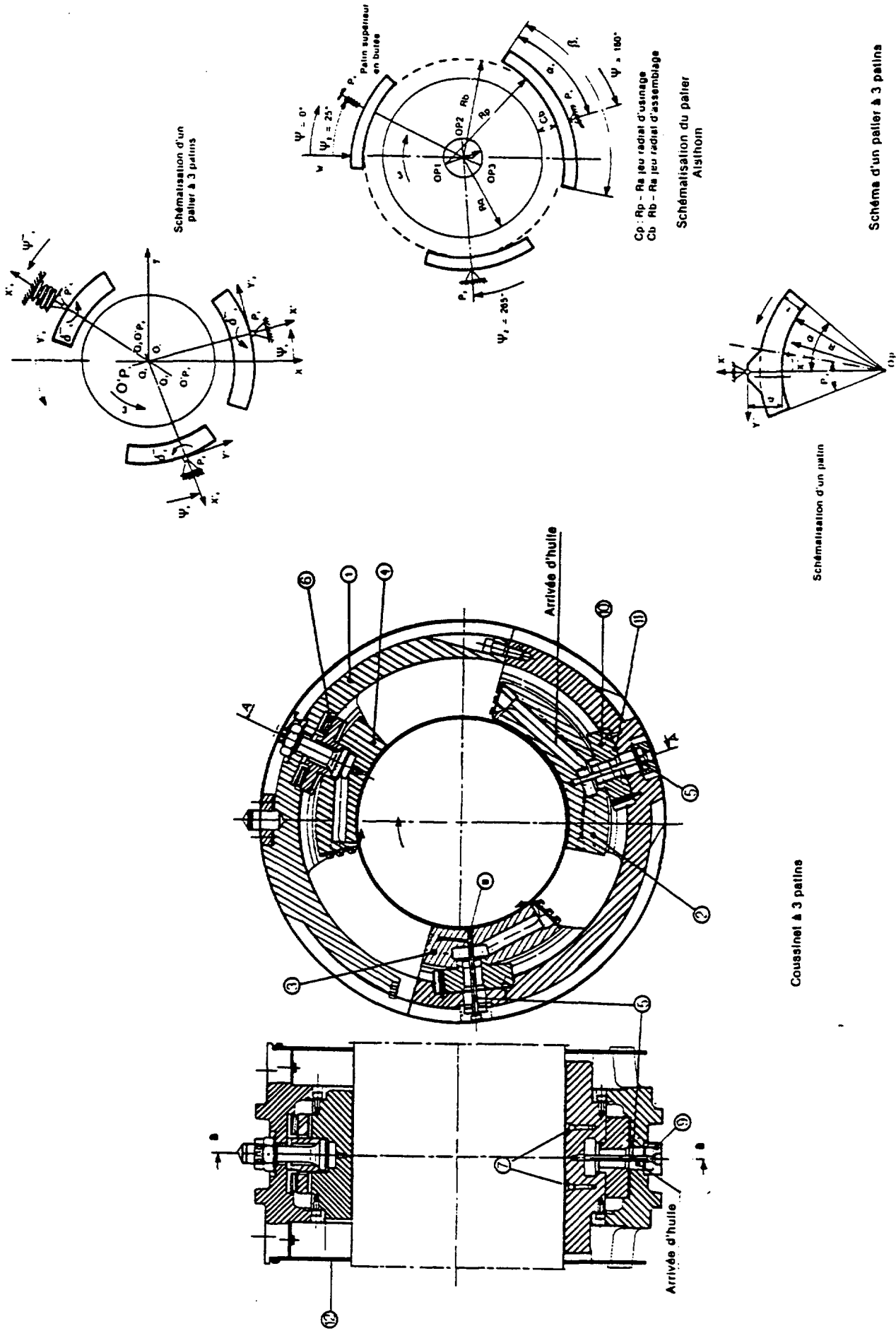
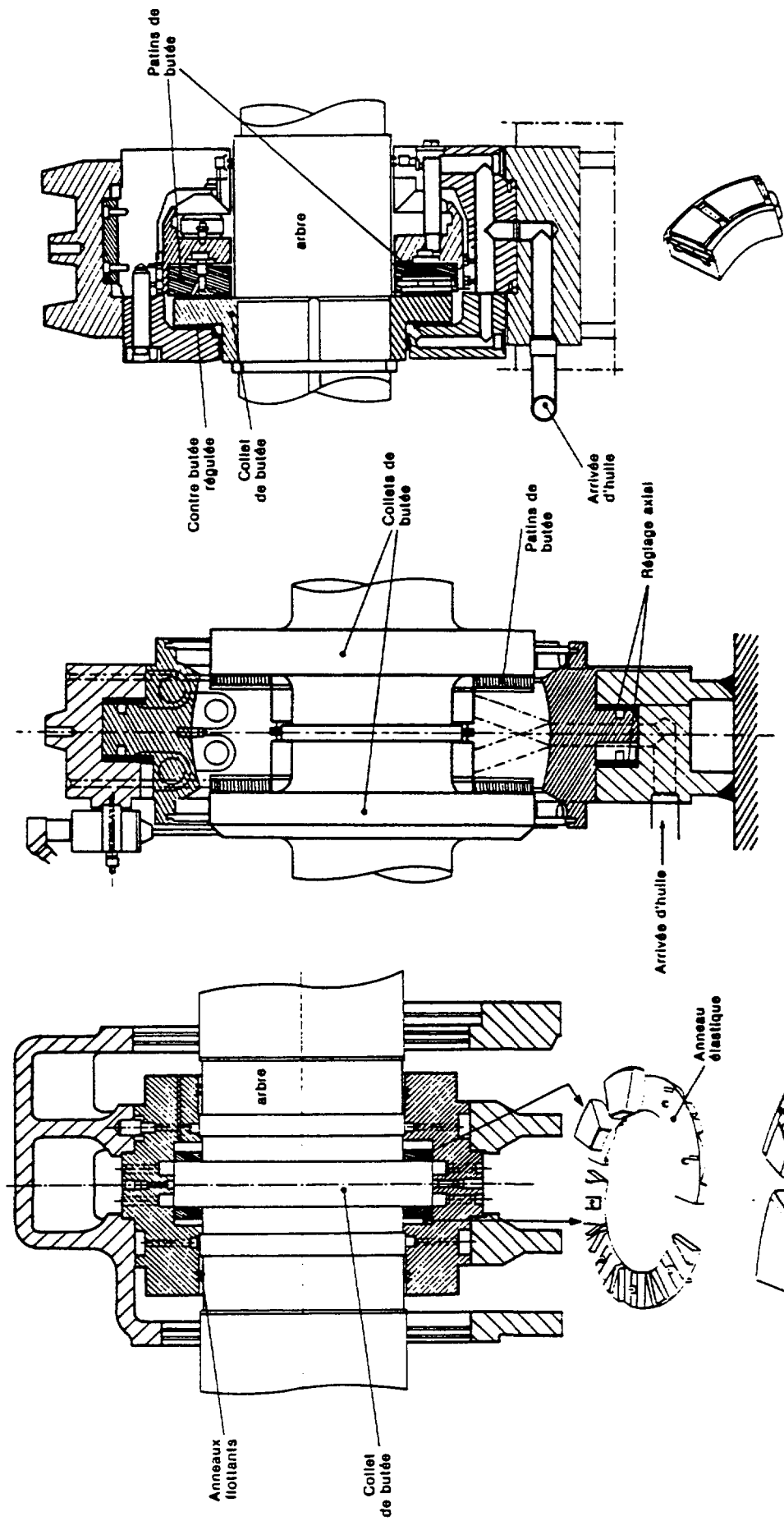


Figure 6 -



Butée 250 MW

Butée CP2 1300 MW

Figure 7 - Différents types de butées

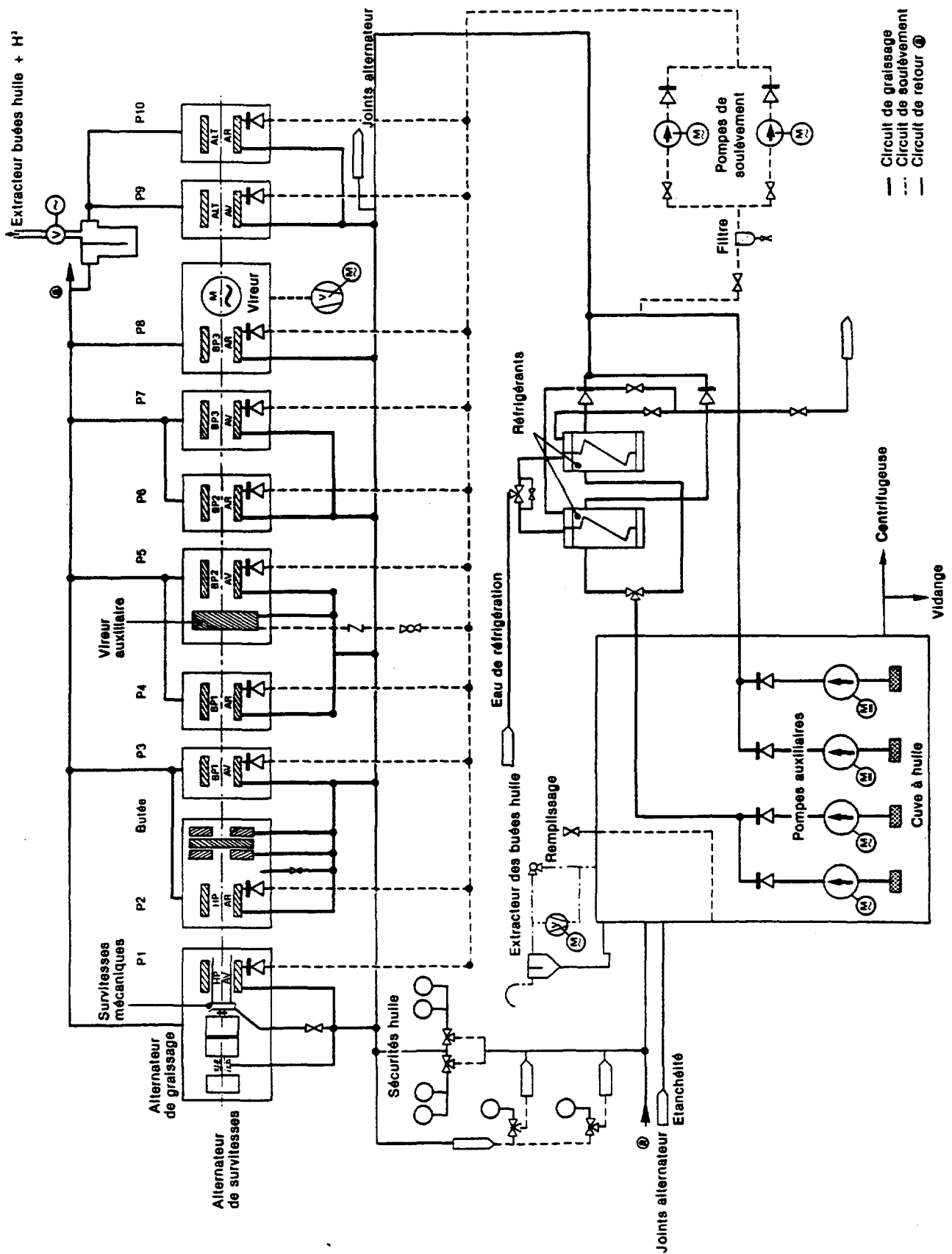


Figure 8 - Schéma de graissage et de soulèvement

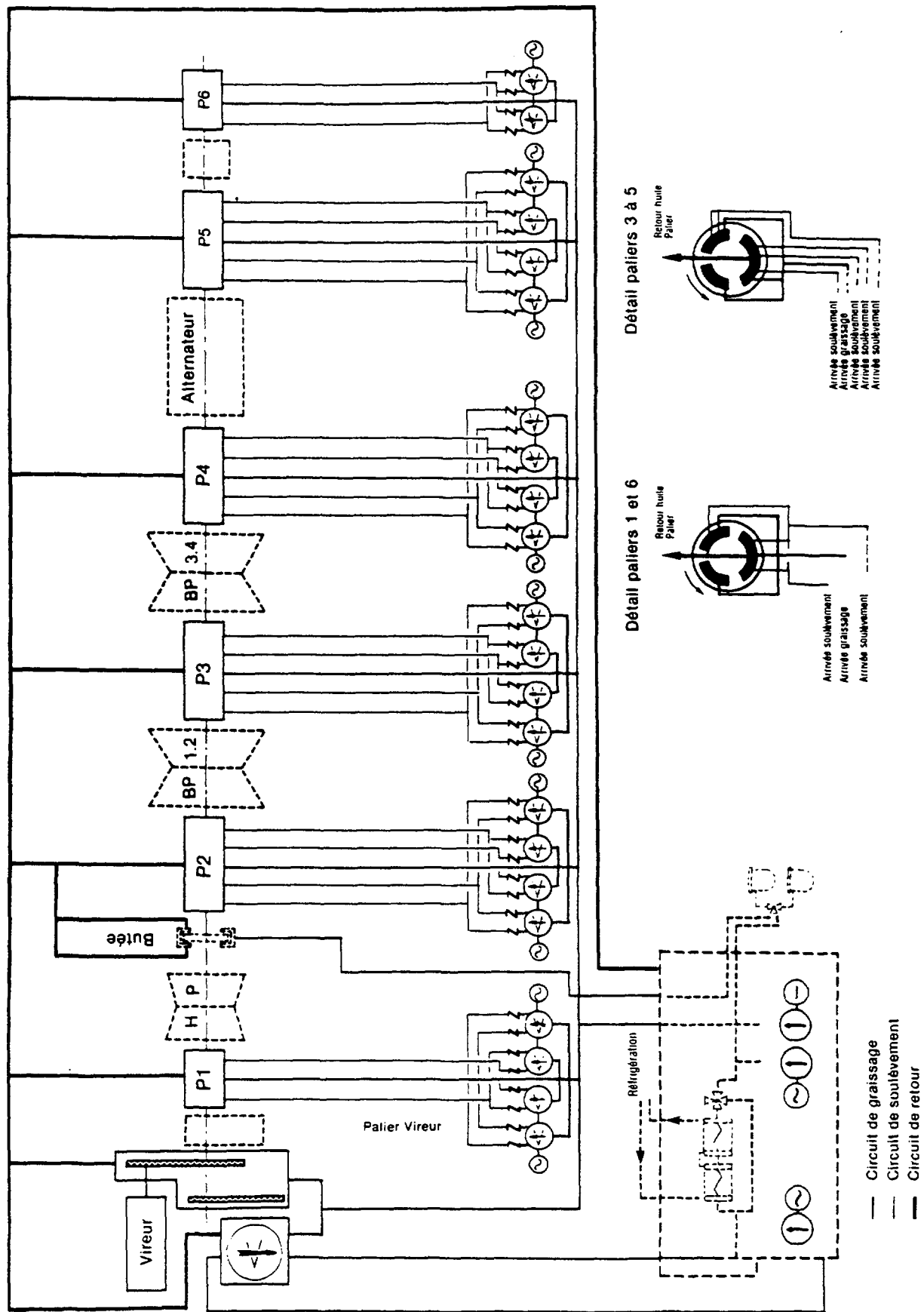


Figure 9 - Schéma de graissage et de soulèvement CP2

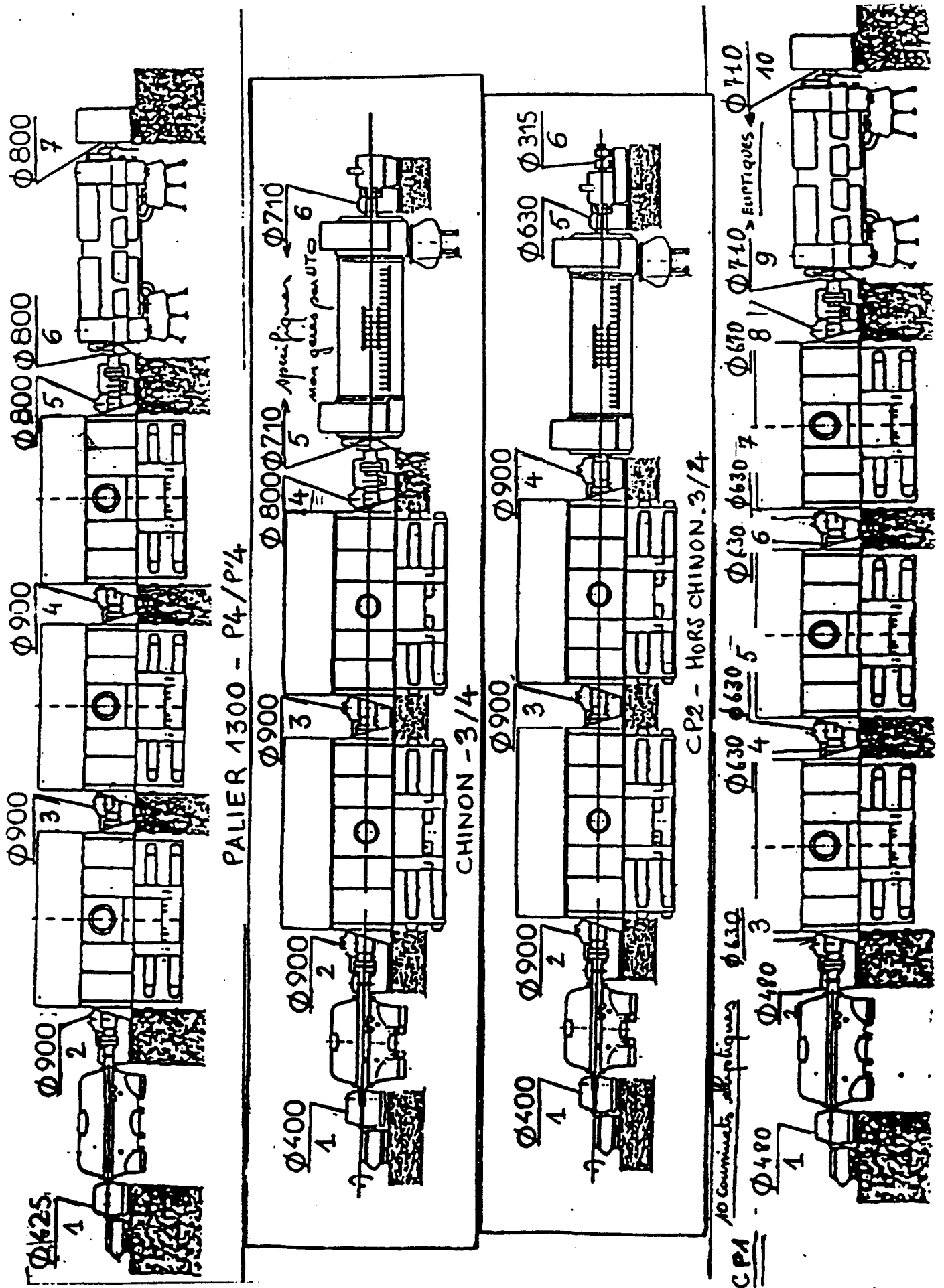


Figure 10 -

MACHINES CP0/CP1		TURBINE										ALTERNATEUR		EXCITATRICE		
Réf. PALIER	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10						
Charge spécifique en bar	13,9	16,2	20,2	22	20,8	20,3	20,2	23,5	18,7	19,3						
MACHINES CP2 Sauf CHINON B3/4																
Réf. PALIER	P1	P2	P3	TURBINE							ALTERNATEUR		EXCITATRICE			
Charge spécifique en bar	22,2	19,8	31,3									P4	P5	P6		
									28,8	26,6			7			
MACHINES de CHINON B3/4																
Réf. PALIER	P1	P2	P3	P4	TURBINE							ALTERNATEUR		EXCITATRICE		
Charge spécifique en bar	22,2	19,8	31,1	22,2									20	20		
MACHINES 1300																
Réf. PALIER	P1	P2	P3	P4	P5	TURBINE							ALTERNATEUR		EXCITATRICE	
Charge spécifique en bar	29,8	22,2	31,3	29,8	20									29,2	29,9	
MACHINES N4																
Réf. PALIER	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	ALTERNATEUR		EXCITATRICE			
Charge spécifique en bar	13,6	15,85	20,93	21,1	20,93	21,1	20,93	21,1	25,28	25,6						

Figure 11 - Comparaison des charges spécifiques des paliers des différentes lignes d'arbres



DIRECTION DES ÉTUDES ET RECHERCHES

1, AVENUE DU GÉNÉRAL-DE-GAULLE - BP 408 - 92141 CLAMART CEDEX FRANCE - TEL. 33 1 47 65 58 11 - FAX 33 1 47 65 49 27 - e.mail elisa.nuc @ der.edfgrd.fr