

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 72 (1954)  
**Heft:** 45

**Artikel:** Les groupes électrogènes à turbines à gaz alimentées par générateurs à pistons libres  
**Autor:** Huber, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-61288>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Les groupes électrogènes à turbines à gaz alimentées par générateurs à pistons libres

Par R. Huber, dipl. ing. ETH, Directeur Technique de la Société d'Etudes Mécaniques et Energétiques (S.E.M.E.), Rueil-Malmaison

Suite et fin de la page 634 DK 621.436: 621.438

### C. Régulation

Pour réaliser une marche en régime stable des deux machines: générateur et turbine, il est nécessaire d'adapter les conditions de fonctionnement de l'une des machines à celles de l'autre.

Examinons d'abord, en choisissant un paramètre commun au générateur et à la turbine, quelles sont, pour chacune de ces deux machines, les caractéristiques de fonctionnement, et prenons comme paramètre commun la pression des gaz en amont de la turbine.

A une pression de gaz donnée, le générateur produit une quantité de gaz d'autant plus grande que la course est plus longue. Les limites maxima et minima des courses vers l'extérieur sont fixées par la construction de la machine. A course minimum, les pistons doivent ouvrir une section encore suffisante des lumières de balayage et d'échappement et, à course maximum, les pistons doivent s'arrêter à une position encore assez éloignée des culasses pour qu'il ne puisse jamais se produire de choc, même dans le cas d'un dérèglement important. Ces limites de course peuvent donc être exprimées par la distance du point mort extérieur au centre de la machine. C'est ainsi que, pour le GS. 34, la limite minimum se trouve à 400 mm du centre et la limite pour course maximum à 480 mm du centre.

La fig. 11 montre, en fonction de la pression des gaz, les débits d'un générateur à course maximum et à course minimum, ainsi que pour une position intermédiaire des points morts extérieurs. Ces débits varient entre 2,3 kg/cm<sup>2</sup> et 4 kg/cm<sup>2</sup>. Les positions limites des points morts extérieurs sont déterminées par des butées de la tringlerie de réglage

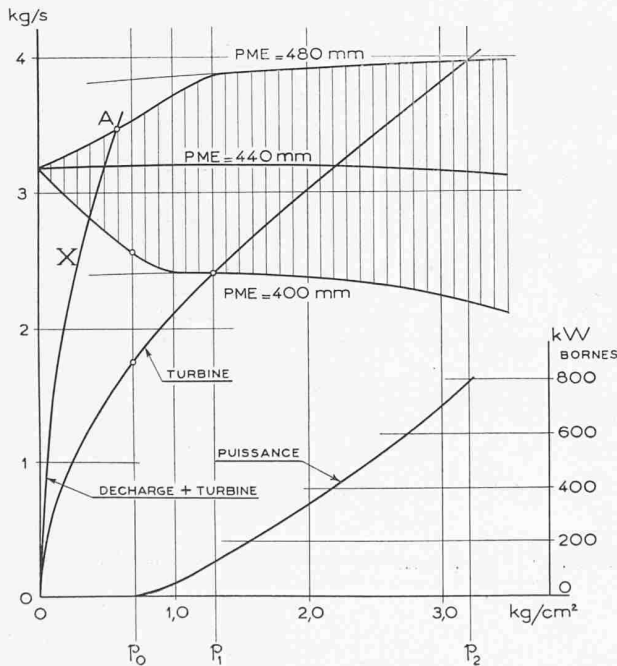


Fig. 12. Caractéristiques de fonctionnement d'un groupe à un GS. 34. Débits maxi et mini de gaz d'un générateur, poids de gaz passant à travers la turbine et puissance aux bornes en fonction de la pression des gaz

P<sub>0</sub> = pression des gaz à puissance nulle  
P<sub>1</sub> = pression des gaz au moment de la fermeture de la vanne de décharge  
P<sub>2</sub> = pression des gaz en surcharge

des pompes d'injection. Ces butées, sous forme de deux cames, fixent à chaque pression de marche le débit maximum et minimum des pompes.

Au démarrage d'un générateur, le cran de la pompe d'injection est toutefois réglé à une valeur bien déterminée et qui correspond à une position du Point Mort Extérieur d'environ 450 mm. Les limites effectives des points morts en fonction de la pression de marche sont alors déterminées par les cames qui raccorderont la position de démarrage de 450 mm du centre aux positions à course mini et course maxi. La surface hachurée du diagramme représente donc la variation effectivement possible du débit de gaz en fonction de la pression.

La loi débit-pression pour la turbine est toute différente puisque la turbine est en général à ouverture constante. A chaque pression des gaz correspond un débit bien déterminé de gaz, qui varie suivant la loi.

$$Q = K \frac{p}{\sqrt{T}}$$

T étant la température absolue des gaz à la pression p. La courbe exprimant cette loi est également tracée sur la fig. 12.

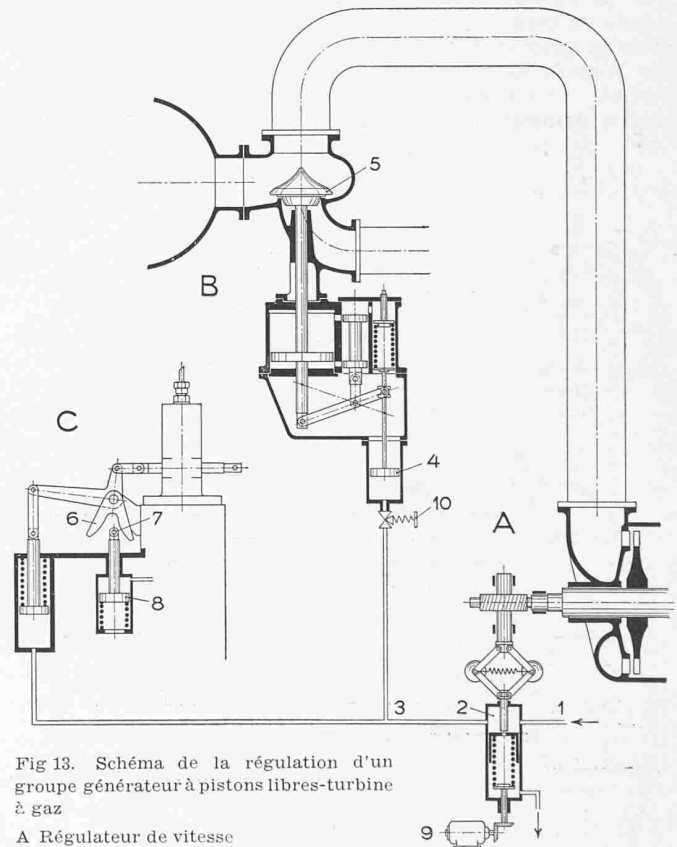


Fig 13. Schéma de la régulation d'un groupe générateur à pistons libres-turbine à gaz

- |   |   |
|---|---|
| A Régulateur de vitesse                                 | 7 Butée limitant le déplacement des cames                                   |
| B Soupape de décharge                                   | 8 Piston de commande de la butée des cames actionné par la pression des gaz |
| C Régulation de la pompe d'injection                    | 9 Moteur de changement de vitesse   |
| 1 Arrivée d'huile sous pression                         | 10 Robinet détenteur  |
| 2 Modulateur de la pression d'huile                     |   |
| 4 Piston récepteur commandant la position de la soupape |   |
| 5 Soupape de décharge                                   |   |
| 6 Cane de limitation du cran minimum                    |   |

On voit que, pour les régimes compris entre les pressions  $p_1$  et  $p_2$ , le débit des générateurs peut être adapté à la consommation de gaz de la turbine mais, pour des pressions inférieures à  $p_1$ , le débit des générateurs est trop élevé et l'excès des gaz doit être déchargé à l'atmosphère.

Les essais ont montré que la pression de gaz nécessaire pour maintenir le groupe en marche à vide est d'environ  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  et que la courbe puissance-pression à l'allure montrée sur la fig. 12. On voit sur cette figure que le régime avec décharge partielle des gaz est limité aux régimes inférieurs à 20 % de la puissance.

Connaissant maintenant les deux régimes de fonctionnement du groupe, on peut établir de schéma de réglage, fig. 13. Il comporte trois éléments distincts:

- A. le régulateur de vitesse de la turbine avec relais de transmission des impulsions,
- B. l'organe de réglage de la décharge de gaz,
- C. l'organe de réglage du cran de combustible.

Le régulateur de vitesse de la turbine agit sur un modulateur de pression d'huile et règle, dans le cylindre 2, la pression de l'huile amenée par le conduit 1 et débitée par le conduit 3 à une valeur inversement proportionnelle à la vitesse de la turbine.

En marche à vide, la soupape de décharge ouvre une section by-pass vers l'atmosphère, juste suffisante pour laisser échapper l'excès de gaz produit, le générateur marchant à course minimum. A puissance croissante, la vitesse de la turbine diminue, la pression de l'huile modulée augmente et déplace le piston récepteur 4 vers le haut. De ce fait, la soupape de décharge 5 réduit progressivement la section de by-pass, ce qui entraîne une augmentation de la pression des gaz.

Pendant cette phase, le générateur est maintenu en marche à course minimum par la came 6 qui suit le galet 7 déplacé en fonction de la pression des gaz par le piston 8. Au moment de la fermeture du by-pass, ou un peu avant, la pression de l'huile modulée agissant sur la tringlerie de commande du cran de la pompe d'injection sépare la came minimum du galet et, à partir de ce moment, le réglage s'effectue par la seule action de l'huile modulée sur le cran de combustible. Une augmentation de ce cran provoque un accroissement du débit et de la pression des gaz, ce qui fait monter

la puissance fournie par la turbine. Le robinet-détendeur 10 disposé dans le conduit d'huile modulée permet de régler à la main la levée de la soupape 2 et facilite ainsi le réglage manuel pendant la première montée en vitesse de la turbine. Un moteur de changement de vitesse 9 agissant sur le tarage du ressort de l'appareil modulateur sert à faire varier, à partir du tableau électrique, la vitesse de la turbine ou la charge.

Ayant ainsi examiné les caractéristiques de fonctionnement du générateur et de la turbine, ainsi que les dispositifs qui servent à la régulation, nous décrirons dans ce qui suit les opérations de démarrage et les diverses phases de montée en charge et de réglage de la puissance du groupe.

#### D. Démarrage d'un Générateur

Le démarrage des générateurs s'effectue en lançant les pistons de leur position extérieure vers le centre. A cet effet, on introduit, pendant un temps très court, une quantité déterminée d'air dans les deux cylindres matelas, le travail de détente de cet air pendant la première course retour étant juste suffisant pour assurer la première compression de l'air carburant.

Le démarreur fig. 14 est disposé entre les deux matelas. Il comporte un réservoir 1 d'une capacité de 50 litres et une soupape 2 commandée pneumatiquement par un piston 3. Il est relié par deux tubes 4 de grande section aux deux capacités matelas auquel il est relié par un tube 6. Ce poste de manœuvre comporte un distributeur d'air comprimé manœuvré par un volant. Les six positions parcourues pendant une rotation complète de ce volant correspondent aux opérations suivantes:

1. remplissage du démarreur,
2. démarrage par ouverture de la soupape 2,
3. refermeture de la soupape 2,
4. arrêt,
5. mise en place des pistons,
6. position repos.

Au moment du démarrage, les pistons se trouvent au voisinage du point mort extérieur où ils ont été placés par un vérin pneumatique immédiatement après le précédent arrêt du générateur. La première opération de démarrage consiste, en tournant le volant de  $60^\circ$ , à ouvrir une arrivée d'air com-

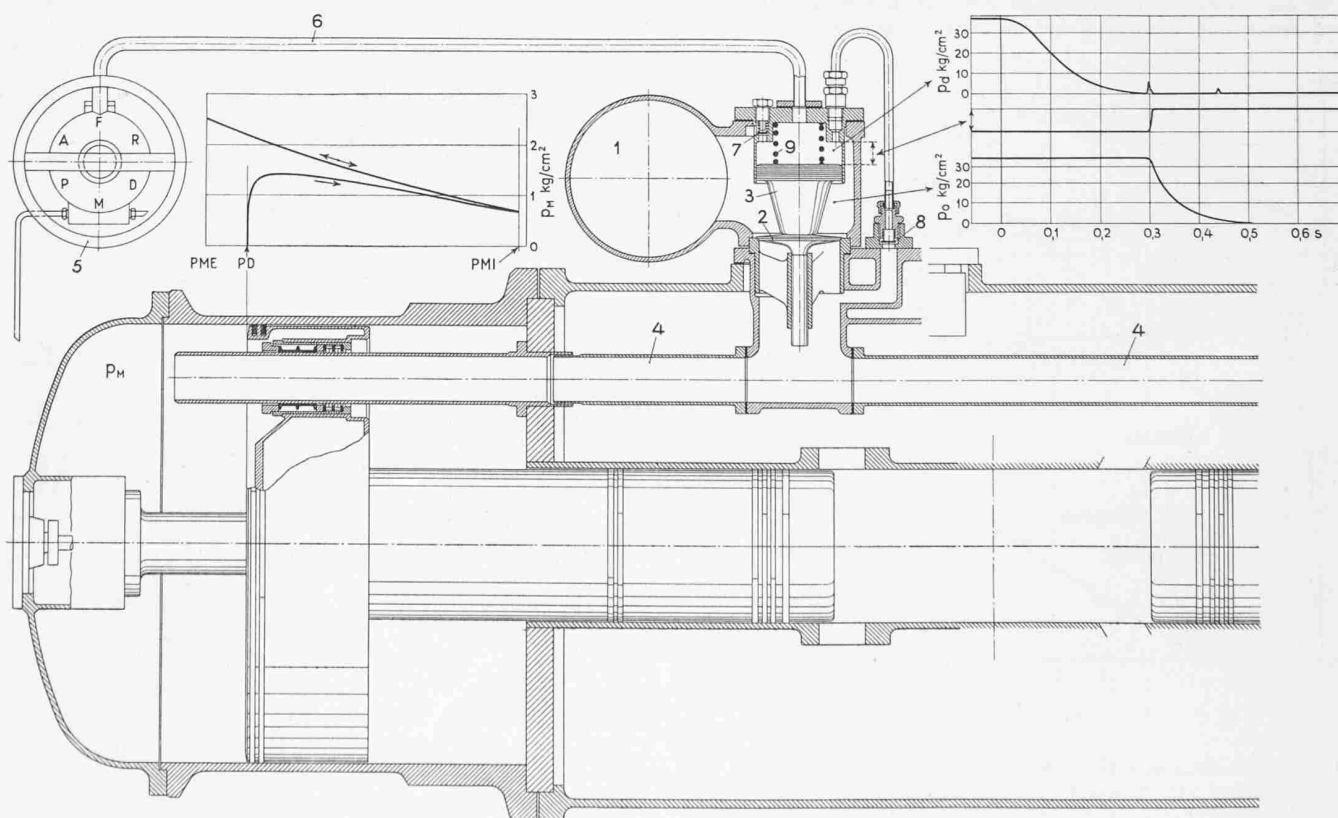


Fig. 14. Démarrage d'un générateur GS. 34

- 1 Réservoir d'air de démarrage
- 2 Soupape de démarrage

- 3 Piston de commande de la soupape
- 4 Tube reliant les deux matelas au démarreur
- 5 Poste de manœuvre

- 6 Tube reliant le poste de manœuvre au démarreur
- 7 et 8 Clapet de non retour
- 9 Ressort

primé vers le démarreur. L'air pénètre d'abord dans le cylindre au-dessus du piston de commande 3 de la soupape de lancement et de là, à travers un clapet de non-retour 7 dans la capacité démarreur. Une nouvelle rotation de 60° du volant décharge le cylindre au-dessus du piston 3 vers l'atmosphère. Ce piston 3 est légèrement plus grand que la soupape 2, de sorte que la pression agissant sur cette différence de section soulève l'ensemble piston-soupape dès que la pression au-dessus du piston a disparu.

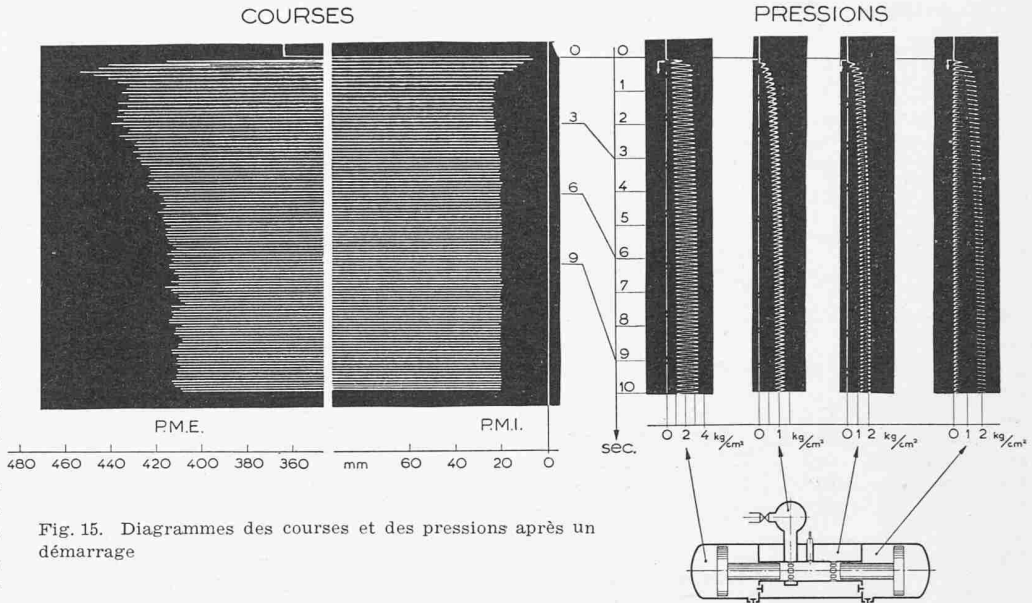


Fig. 15. Diagrammes des courses et des pressions après un démarrage

L'effort agissant dans le sens de l'ouverture augmente rapidement dès les premiers mm de levée, par suite de la pression qui s'établit au-dessous de la soupape, de sorte que l'ensemble piston-soupape est lancé avec une grande accélération vers le haut. L'air de démarrage s'engouffre vers les matelas et établit, dans ces matelas, une pression d'environ 1,3 kg/cm<sup>2</sup> avant que les pistons du générateur se soient rapprochés de beaucoup du point mort intérieur. L'air de démarrage se détend ensuite et donne au piston une impulsion suffisante pour assurer la course retour. Pendant les premiers battements, la soupape de démarrage reste ouverte, ce qui provoque quelques pertes par pompage. En tournant le volant de nouveau de 60° on referme le conduit d'alimentation et de décharge 6. La capacité de commande est alors alimentée à travers un clapet de non retour 8 en air comprimé provenant des cylindres matelas. La pression dans cette capacité devient ainsi égale à la pression maximum atteinte au PME dans les cylindres matelas, et l'effort dû à cette pression augmenté de l'effort d'un ressort 9 referme la soupape de lancement et la maintient fermée pendant toute la durée de la marche.

La même figure 14 montre, en fonction du temps, les variations de pression dans les diverses capacités du démarreur ainsi que la levée de la soupape. La soupape se lève en moins d'un centième de seconde et la pression maximum est atteinte dans les cylindres matelas 4/100<sup>e</sup> de seconde après le début d'ouverture de la soupape de démarrage. Un autre graphique de cette figure montre la variation des pressions dans le cylindre matelas pendant la course de démarrage et la première course aller.

Avant de lancer le générateur, on place la soupape 2 (fig. 13) dans une position intermédiaire en agissant sur le robinet détenteur 10 (fig. 13). Dès que le générateur est en marche, la pression des gaz dans le pot d'échappement monte et atteint en quelques secondes une valeur pour laquelle il s'établit un équilibre entre le débit de gaz fournis par le générateur et le débit de gaz qui s'échappent en partie à travers le by-pass et en partie à travers la turbine.

La fig. 15 montre les diagrammes des courses et des pressions minima et maxima dans les diverses capacités pendant les premières secondes de fonctionnement suivant le démarrage. Ces diagrammes ont été relevés en marche avec injection variable, le cran de la pompe d'injection étant déterminé par la came limitative pendant la première montée de 0 à 1,0 kg/cm<sup>2</sup> suivant le démarrage.

La relation entre débit et pression pendant la première phase de marche ressort de la fig. 12. Sur cette figure est tracée, en fonction de la pression des gaz, la courbe donnant le poids de gaz passant par le by-pass et la turbine (courbe X). L'intersection de la courbe X avec celle du débit maximum du générateur au point A détermine la pression qui s'établit après le démarrage, et pour laquelle il y a équilibre entre le débit du générateur et l'échappement des gaz à travers by-pass et turbine.

En manœuvrant progressivement le robinet détenteur 10 (fig. 13) sur le conduit d'huile modulée, on provoque l'étranglement de la sortie des gaz vers le by-pass, la pression des gaz augmente et accélère la turbine. La montée en vitesse de la

turbine est alors réglée par ce robinet détenteur. Dès que la vitesse de régime est atteinte, ce robinet est mis hors d'action et, à partir de ce moment, le régulateur automatique agit directement et détermine la levée de la soupape by-pass à la valeur nécessaire pour maintenir la turbine à sa vitesse. Le moteur de changement de vitesse disposé sur le régulateur de la turbine permet alors d'adapter la vitesse à la fréquence du réseau pour effectuer le couplage.

Les performances d'un groupe de 1400 kW à deux générateurs sont montrées sur la fig. 16. La consommation spécifique aux bornes de 253 gr/kWh fait ressortir un rendement global de 33,5 %.

**E. Régulation avec fortes variations de charge**

L'adaptation de la puissance aux variations normales de la charge se fait très rapidement et ne présente aucune difficulté spéciale. Par contre, les variations de forte amplitude posent certains problèmes, parce que le moment d'inertie des masses tournantes est très faible et parce que le remplissage et la vidange des capacités sous pression du générateur retardent la réponse de ce dernier. Il est relativement facile de provoquer un abaissement rapide de la pression des gaz, mais

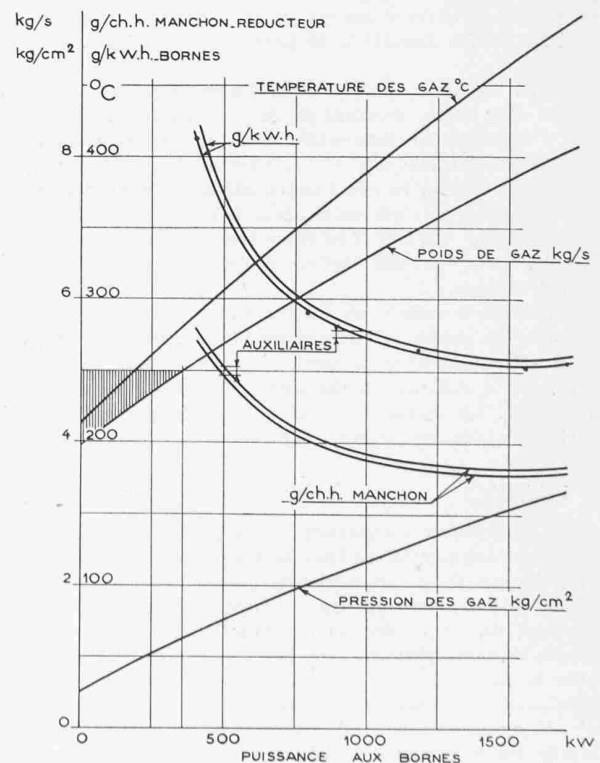


Fig. 16. Caractéristiques de fonctionnement d'un groupe de 1500 kW



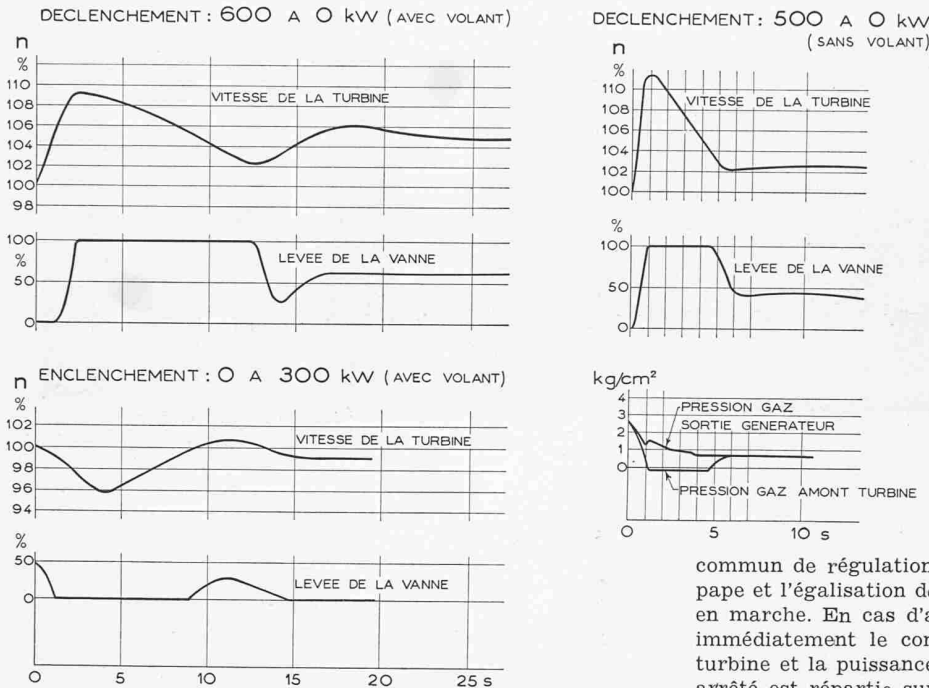


Fig. 17. Vitesse de la turbine et mouvement de la soupape de décharge après déclenchement ou enclenchement de l'alternateur

il est plus difficile d'accélérer la montée en pression sans disposer d'une source d'air extérieure. On peut rendre plus simple le problème des fortes variations de charge en munissant l'alternateur d'un volant tel qu'il a été montré sur la fig. 8. Les essais ont montré qu'un volant de dimensions réduites suffit pour pouvoir disjoncter la pleine charge.

La fig. 17 montre les diverses variables importantes pendant une disjonction de la pleine charge. La vitesse de la turbine augmente à partir du moment de disjonction qui a lieu au top 0, elle atteint le maximum de 109,2 % après 2,2 secondes et se stabilise après une seule oscillation à 104,7 % de la vitesse initiale.

La soupape de décharge agit avec un retard d'une seconde dû à la transmission de la pression modulée et ferme, 1,8 seconde après la disjonction, le conduit des gaz vers la turbine. La pression des gaz dans ce conduit tombe alors presque instantanément à zéro. La soupape de décharge ouvre de nouveau l'arrivée des gaz vers la turbine 13 secondes après et se stabilise ensuite à la levée correspondant à la marche à vide.

Les mêmes variables sont tracées sur cette fig. 17 pour le cas d'un enclenchement de 50 % de la charge normale.

Des essais de disjonction avec un groupe sans volant ont également été réalisés. Ce groupe a été muni d'un accélérateur qui ramène le délai entre disjonction et décollément de la soupape pratiquement à zéro. Il a été possible dans ce cas de disjoncter 500 kW. Les réponses sont évidemment bien plus rapides et le nouveau régime est déjà atteint 6 secondes après la disjonction.

Depuis le relevé des diagrammes figure 17, la rapidité de réponse du dispositif de régulation a été améliorée, de sorte qu'il est aujourd'hui possible, sur un groupe à deux générateurs sans volant, de disjoncter la puissance maximum de 1500 kW. La vitesse maximum atteinte par la turbine après cette disjonction reste inférieure à 110 % de la vitesse nominale.

#### F. Sécurité

Les turbines comportent des organes de sécurité habituels mais ces dispositifs, au lieu de fermer une vanne dans le conduit de gaz en cas de survitesse, ce qui compliquerait l'installation, provoquent tout simplement l'arrêt du générateur par coupure de l'injection du combustible. Les générateurs s'arrêtent instantanément et le pot d'échappement se vide à travers la turbine en une fraction de seconde, ne créant qu'un très petit accroissement de la vitesse.

Dans ce qui précède, nous nous sommes bornés à examiner les conditions de réglage d'un groupe ne comportant qu'un seul générateur. Le principe de la régulation reste le

même si plusieurs générateurs alimentent une même turbine. Chacun de ces générateurs est équipé d'une soupape de réglage et de décharge, ainsi que du dispositif de réglage du cran d'injection. Les soupapes de décharge servent de vannes d'isolement des générateurs qui sont à l'arrêt ou qui n'alimentent pas encore le collecteur de gaz commun parce que leur pression de marche est encore inférieure à la pression des gaz dans le collecteur.

Pendant le démarrage, le générateur débite à l'air libre à travers la soupape de décharge. Un organe de laminage disposé dans le conduit de décharge permet alors d'augmenter progressivement la contrepression du générateur jusqu'à la pression qui règne dans le collecteur. Une fois cette pression atteinte, on branche le générateur en question sur le circuit

commun de régulation, ce qui provoque l'ouverture de la soupape et l'égalisation de la charge parmi les divers générateurs en marche. En cas d'arrêt d'un générateur, la soupape ferme immédiatement le conduit de gaz de ce générateur vers la turbine et la puissance qui avait été fournie par le générateur arrêté est répartie sur les générateurs maintenus en marche.

Une installation à huit générateurs, fournissant au total 6000 kW est montrée sur la fig. 18. Dans ce groupe, actuellement en construction, la turbine tourne à 3000 t/min. Elle entraîne l'alternateur à la même vitesse. Le poids des générateurs, de la turbine, de l'alternateur et des conduits de gaz est de 105 tonnes soit 17,5 kg par kW bornes. La consommation spécifique d'un groupe de cette importance, étant donné le meilleur rendement de la turbine, s'établit à environ 245 grs/kWh bornes.

Un autre groupe, également en construction, comporte six générateurs. Les gaz sortant à 450° C de ces générateurs sont réchauffés à 650° C dans une chambre de combustion montée en amont de la turbine. La puissance de ce groupe sera de 5500 kW.

#### G. Résumé

La technique des générateurs à pistons libres a rompu avec la tradition qui date des premières machines à vapeur et qui veut que le mouvement rectiligne des pistons soit transformé en mouvement de rotation par un système de bielles-manivelles. A la place de ces organes mécaniques, c'est l'air comprimé qui est employé sur les générateurs comme agent de transmission.

Après un développement s'étendant sur de nombreuses années, les groupes à générateurs à pistons libres ont atteint le stade d'industrialisation et, au cours des dernières années, ces groupes ont trouvé leur application à la propulsion de bateaux, à la traction sur rail, et comme groupes électrogènes.

Tous les groupes réalisés jusqu'à ce jour utilisent un seul type de générateur, ce qui démontre l'un des avantages de cette technique: la standardisation. Ce générateur donne une puissance de 1000 CV sur l'arbre. Il convient pour des groupes de 1000 à plus de 10 000 CV.

Les résultats des premiers groupes en service sont très encourageants et ont conduit à des commandes d'installations de puissances plus élevées. Ces groupes sont actuellement en cours de réalisation.

Les rendements atteints jusqu'à ce jour sont quelque peu inférieurs à ceux des meilleurs moteurs Diesel, mais il faut se rappeler que la technique des machines à pistons libres est à son début, si on la compare à la technique très évoluée des moteurs classiques. Il paraît très probable qu'une évolution semblable à celle des moteurs Diesel permettra d'atteindre en peu de temps les rendements des meilleurs moteurs Diesel.

## Zementindustrie und Baukonjunktur

DK 666.94:338.69

In seinem soeben erschienenen Jahresbericht 1953 gibt der Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten seinen Bedenken über die gegenwärtige Entwicklung Ausdruck. Der Zementabsatz war von jeher das getreue