

LA VAPEUR EN MODELISME NAVAL

JE CONSTRUIS UN MOTEUR TYPE PILON

VI

Un proverbe japonais dit que l'on commence de vieillir lorsqu'on finit d'apprendre.

Ce sage proverbe suggère de construire une machine à vapeur de type pilon, non pas en copiant un plan existant mais en secouant ses propres neurones de façon à en produire un sois-même. Pour aider en cela et sans se perdre dans des calculs savants, il est bon de se farcir un peu de technologie en gardant à l'esprit que nous évoluons dans le domaine du modélisme amateur. On évitera donc de vouloir faire étalage de technicité dopée de formules mathématiques.

Les premières machines fonctionnaient souvent avec un accouplement à balancier.

De ce fait, le cylindre moteur étant disposé au sol, la tige de piston sortait vers le haut et était accouplée à une bielle qui à cet endroit porte le nom de pied de bielle. L'autre extrémité porte le nom de tête de bielle. De nos jours, les machines étant généralement inversées, portent le nom de machines pilon, mais gardent néanmoins les mêmes noms pour les extrémités des bielles.

Il en va de même pour les 2 points morts, le point mort haut (PH ou PMH) qui correspond au point mort bas (PB ou PMB) de nos machines et vice et versa. Si on consulte d'anciens ouvrages sur la vapeur, il est bon d'en tenir compte.

Le but de ce cahier étant de construire une machine à pilon simple, on ne s'attardera pas sur toutes les recherches faites pendant plus d'un siècle visant à gagner de la place, de l'efficacité, régularité etc....

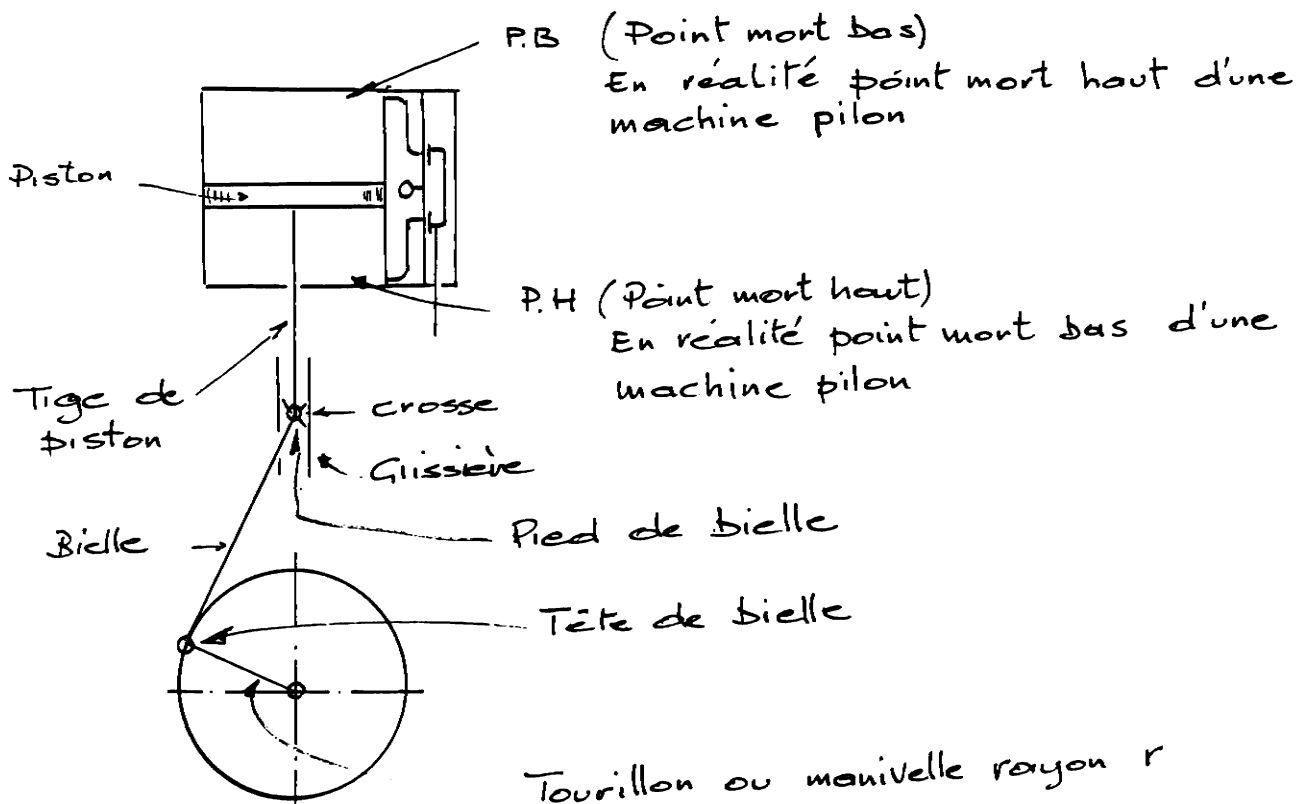
Il faut donc à ce stade décider du type de machine que l'on veut construire, compte tenu de la notion modélisme que l'on veut garder en mémoire.

Plusieurs possibilités :

- Machine avec 1 cylindre avec ou sans inversion de machine à lancer à la main.
- Machine à 2 cylindres identiques autorisant une inversion de machine à démarrage sans assistance, à tiroirs plats ou cylindriques.
- Le même genre de machine mais de type compound, éventuellement à 3 cylindres.

Il semble que la meilleure formule soit celle citée en 2 ou 3, le choix se fera en fonction des considérations ci-après.

D'abord, il faut revenir pendant quelques instants aux caractéristiques principales de fonctionnement et de construction des machines grandeurs réelles.



Pour la petite histoire, les machines grandes réelles, observaient quelques règles pratiques de construction.

Hauteur piston en mètres

$$H = 0,08 D \sqrt{P + C}$$

D = Ø piston en m

P = pression vapeur en kg/cm²

C = coefficient 0,03 à 0,05

Tige de piston

$$d = \text{Ø tige en m} = 0,07 D \sqrt{P}$$

Bielle motrice

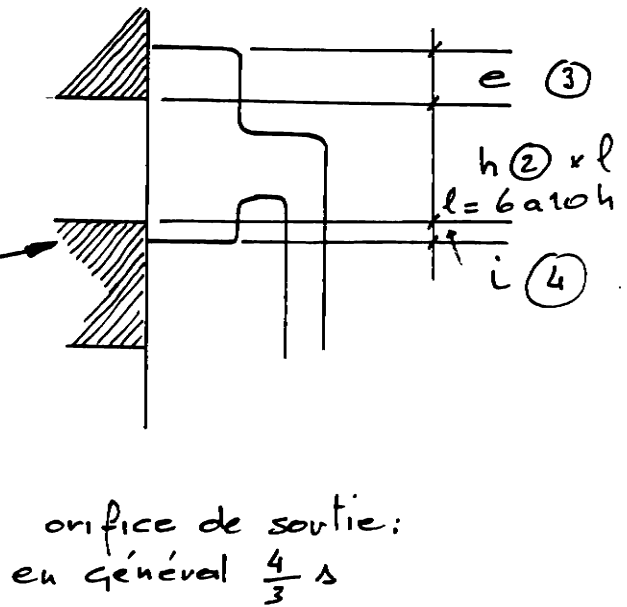
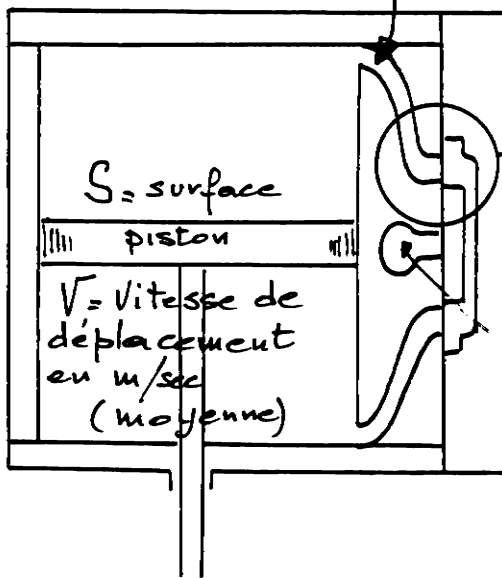
Longueur ℓ en m = en marine 4 x rayon du tourillon r
 en statique 5 x r
 en mine 3,5 x r

$$\text{Diamètre de bielle circulaire en mm} = 5,5 \sqrt{P \times L^2}$$

P = poussée en kg L = longueur en m

Dimensions des tiroirs

s = Section d'entrée ①
 v = vitesse vapeur à l'entrée



Si l'on prend comme vitesse d'entrée s une valeur de 10 m/sec (vitesse très classique en pratique modéliste, peut monter à 30 m/sec " en vrai "). On peut affirmer que le produit de la vitesse de la vapeur, soit 10 m/sec x s est égale à la vitesse de déplacement du piston V x sa section S (à relire 2 x pour bien comprendre)

$$\text{donc } s \times 10 = S \times V \text{ ou } s = \frac{S \times V}{10} \quad \text{①}$$

mais $s = h \times \ell$ (pris égale à 6 dans l'exemple)
 donc $s = h \times 6 h = 6 h^2$

$$h = \text{donc } \sqrt{\frac{s}{6}} \quad \text{②}$$

Application : supposons un moteur de modélisme

Ø piston 12 mm course 15 m/m Vitesse de rotation 1500 t/min. soit $\frac{1500}{60} = 25$ t/sec. Vitesse de la vapeur à l'entrée 10 m/sec. soit 10.000 mm/sec.

Le piston effectue une course aller et une course retour par tour, donc sa vitesse $V = 2 \times 15 \text{ mm} \times 25 \text{ t/sec.} = 750 \text{ mm/sec.}$

$$\text{Sa section ou surface } S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 12^2}{4} = 113 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{S \times V}{10.000} = \frac{113 \times 750}{10.000} = 8,5 \text{ mm}^2 \quad \textcircled{1}$$

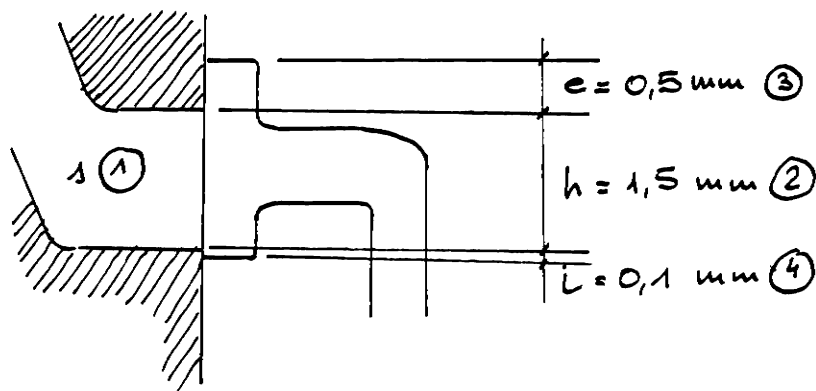
$$h = \sqrt{\frac{8,5}{6}} = 1,2 \text{ mm} \quad \ell = 1,2 \times 6 = 7,2 \text{ m m} \quad \textcircled{2}$$

On remarquera par la suite que ces mesures sont difficilement applicable surtout en ce qui concerne la cote h $\textcircled{2}$ que l'on augmentera à 1,5 à 2 mm pour la facilité.

on admet généralement que le rayon de l'excentrique R vaut $\frac{4}{3} h$, et que e $\textcircled{3} = \frac{1}{4} R$, que i $\textcircled{4} = \frac{1}{20} R$

Si l'on prend pour exemple $h = 1,5 \text{ mm}$ $\textcircled{2}$

$$R = \frac{4}{3} h = 2 \text{ m m} \quad e = \frac{1}{4} R = 0,5 \text{ m.m} \textcircled{3} \quad i = \frac{R}{20} = 0,1 \text{ m.m} \textcircled{4}$$

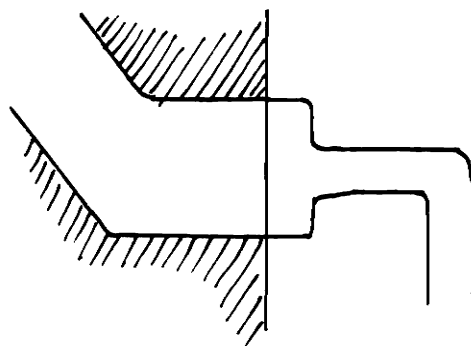


Dans la mesure du possible ces dimensions sont respectées en applications modélistes.

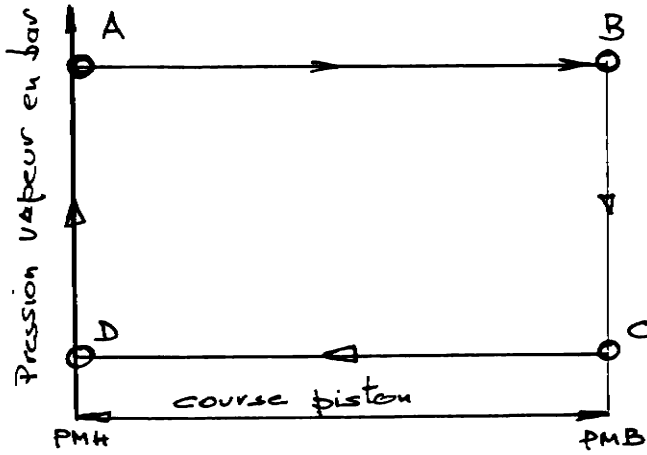
Il n'est donc pas étonnant que l'on retrouve ces cotes (approximativement) sur les plans modélistes existants sur le marché

Pourquoi le tiroir doit-il couvrir l'orifice " s " plus une lèvre " e " ? Ceci se détermine à l'aide d'un petit diagramme. (Prière de ne pas commencer à sauter les pages à ce moment, ce qui suit n'est pas compliqué, bien au contraire).

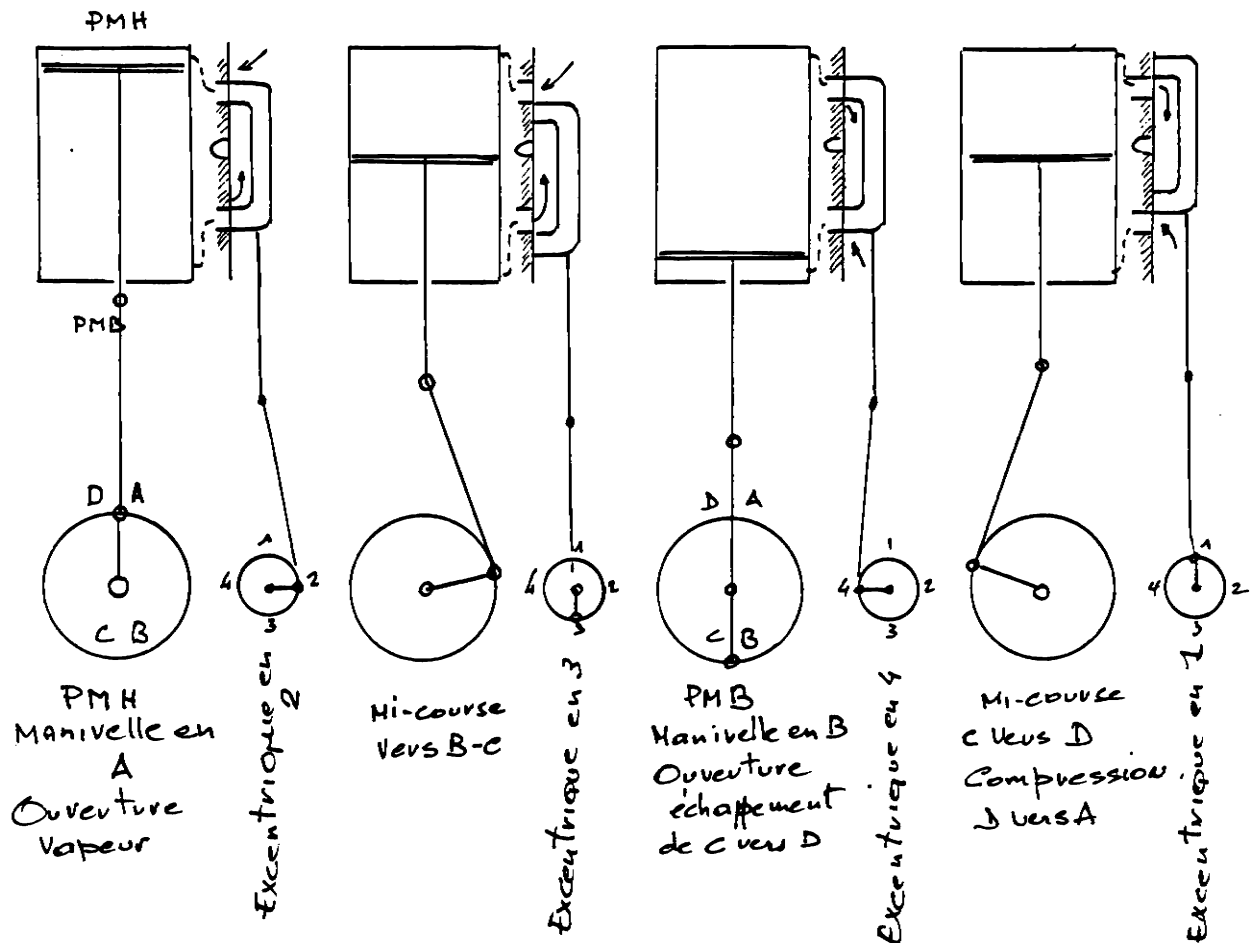
Voyons d'abord comment fonctionne une machine à tiroirs sans recouvrement.



Si le piston se déplace dans le cylindre, c'est grâce à la vapeur qui y pénètre sous pression (exprimée en bar, anciennement kg/cm²) 1 bar \cong 1 kg/cm².
 On peut suivre l'évolution du piston lors d'une course "allez", l'effet produit sera identique et de sens contraire lors de la course "retour".



Position du tiroir pendant 1 tour de manivelle.



N.B. Oublions les anciennes annotations PB et PH qui deviennent à partir d'ici PMH et PMB .

Pour une machine à alimentation totale, c.à.d. avec introduction de la vapeur pendant toute sa course, le diagramme ci-dessus peut-être commenté de la façon suivante.

Au début de la course du piston, soit depuis le PMH (point mort haut) on introduit la vapeur sous pression en A, le piston se déplacera depuis le PMH pour se diriger vers le PMB.

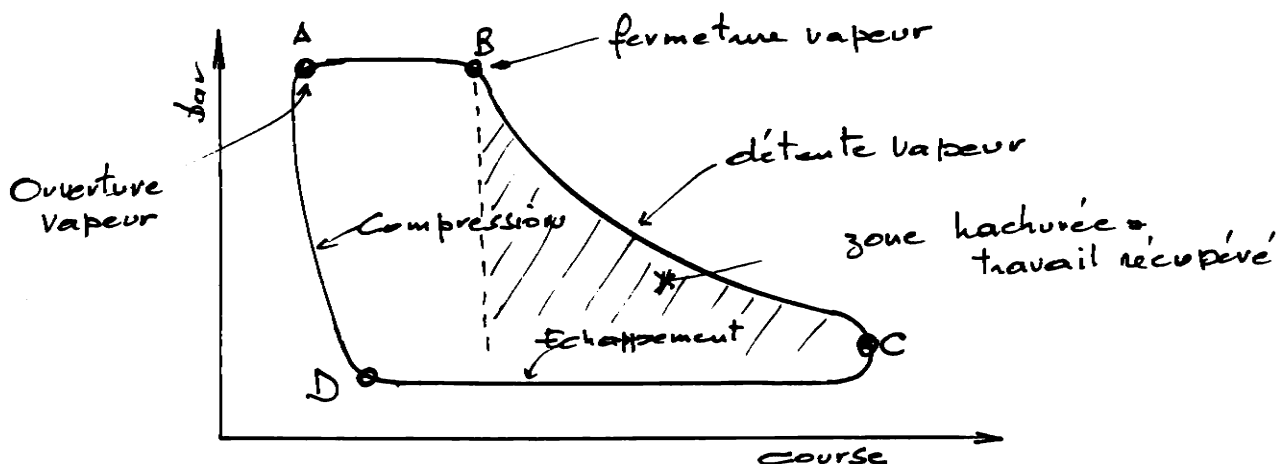
Pendant cette course de A vers B la pression dans le cylindre ne varie pas de par l'alimentation continue en vapeur. En B on ouvre la sortie pour évacuer la vapeur, et le piston est refoulé en C vers D par la poussée de la vapeur agissant maintenant sur l'autre face. Arrivé en D on retourne vers A c.à.d. vers une fermeture de la sortie et une nouvelle alimentation en vapeur.

Ça, c'est la théorie et pour respecter ce schéma il faudrait installer des tiroirs sans recouvrement " e " .

Ce système à alimentation totale est d'application lorsque le moteur est alimenté non pas avec de la vapeur mais avec un fluide incompressible. Exemple : le moteur est utilisé avec de l'eau sous pression.

En fait, pour ne pas évacuer la vapeur en phase échappement à la pleine pression (ce qui signifie un énorme gaspillage d'énergie) on coupe l'alimentation vapeur bien avant que le piston n'ait atteint le point B du diagramme. Cela ne peut se faire que par adjonction d'une lèvre en " e " au tiroir, dont la longueur dépendra du degré de détente de la vapeur que l'on veut obtenir.

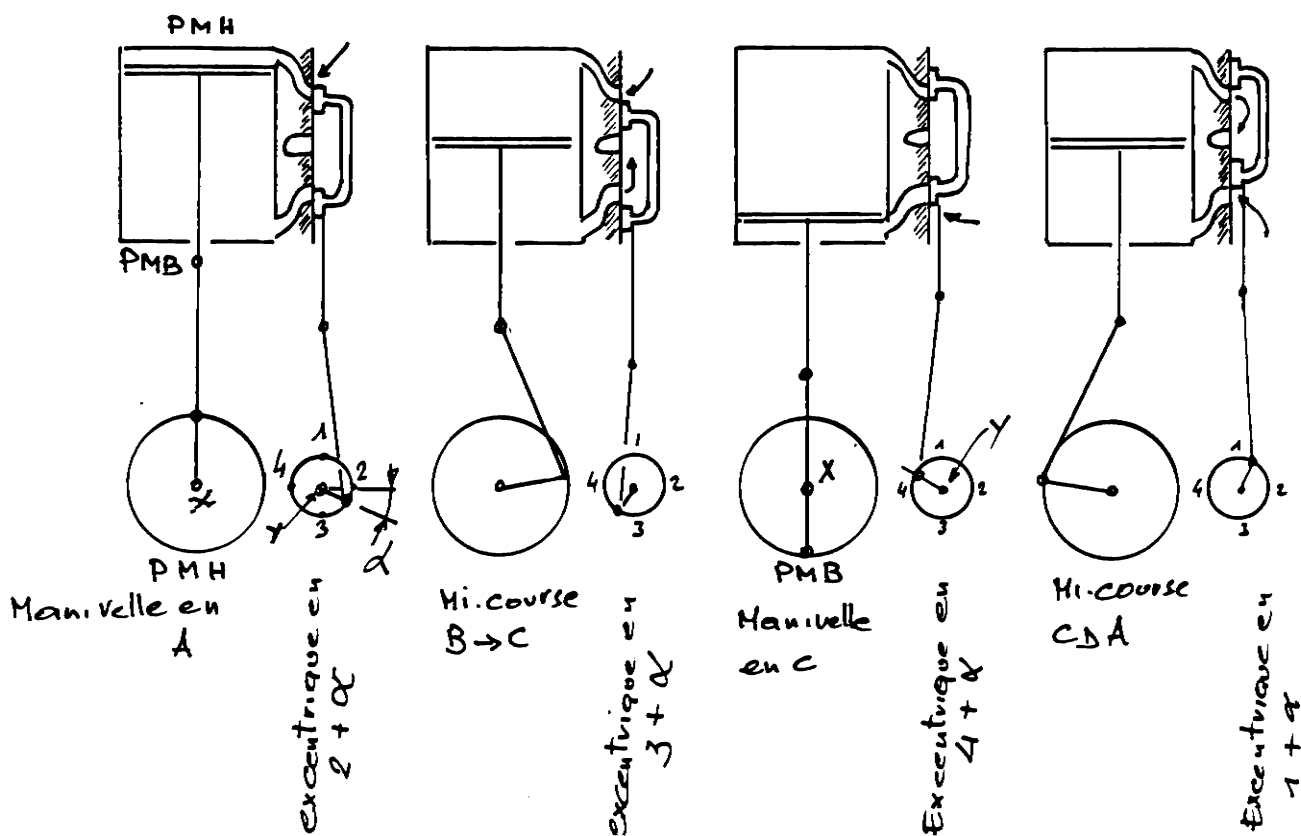
Comme déjà dit au début de ce cahier, on ne cherche pas à développer de grandes théories et on réduira donc le diagramme suivant à sa plus simple expression pratique.



On remarque sur le diagramme, compte tenu du recouvrement " e " que la vapeur entre en A et est coupée en B. Il y a ensuite une phase détente jusqu'en C, puis le piston revient vers son point de départ.

Au point D la sortie vapeur est fermée et il reste une phase compression entre D et A.

Pour y voir clair il est bon de tracer les lignes théoriques d'une machine pour voir l'évolution du tiroir pendant un cycle (x et y sont sur le même axe).



Pour tenir compte de la phase compression D-A et de l'ouverture progressive du tiroir depuis le point A qui se limite à une petite fente au début du cycle, on accélère l'ouverture de ce dernier en augmentant l'angle α qui en pratique devient $\alpha + \alpha'$. Cette avance dite linéaire est de l'ordre de $\frac{1}{18} R$ (Rappel : R = rayon d'excentricité), l'angle d'avance est de l'ordre de 10 à 30° et dépend, on l'aura compris de la dimension de la lèvre " e ". ③

On reparlera de cette lèvre " e " plus loin, parce qu'elle rendra encore service dans le système d'inversion de marche par le système à coulisses de Stephenson.

En revenant à notre machine à détente on peut citer quelques inconvénients des machines " vraies ".

- La haute pression vapeur jusqu'à 12 bar est envoyée sur 1 seul piston.

Ca n'a rien d'anormal, mais impose que toute la structure de la machine en tienne compte.

- parois épaisses – tige de piston conséquente
- grandes surfaces de déperditions de chaleur.
- encombrement en hauteur – condensations importantes etc...

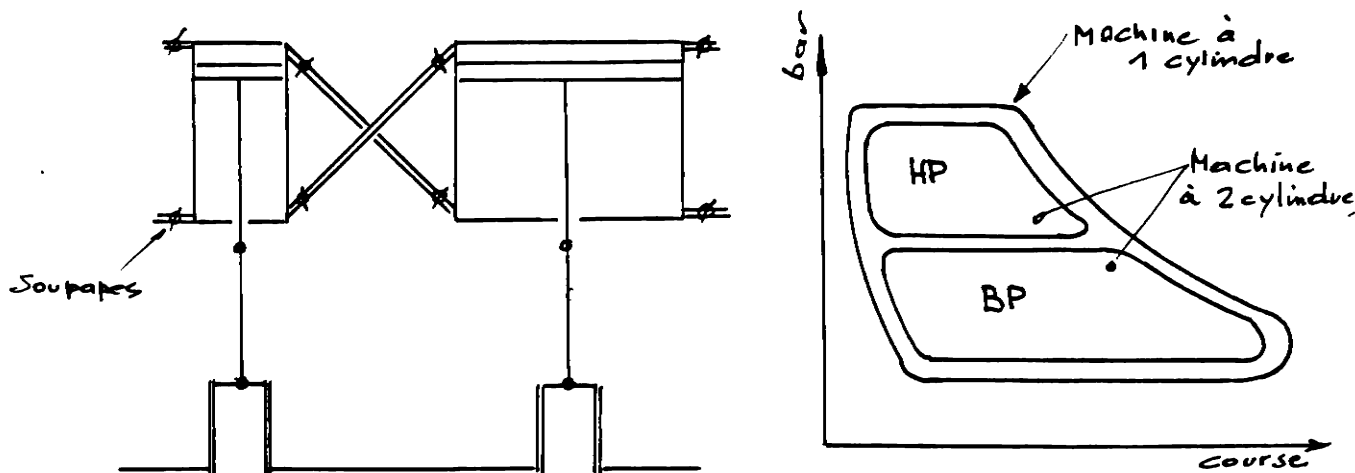
Pour obvier à ces inconvénients on scinde la machine en plusieurs parties.

La machine de WOOLF fut parmi les premières solutions adoptées.

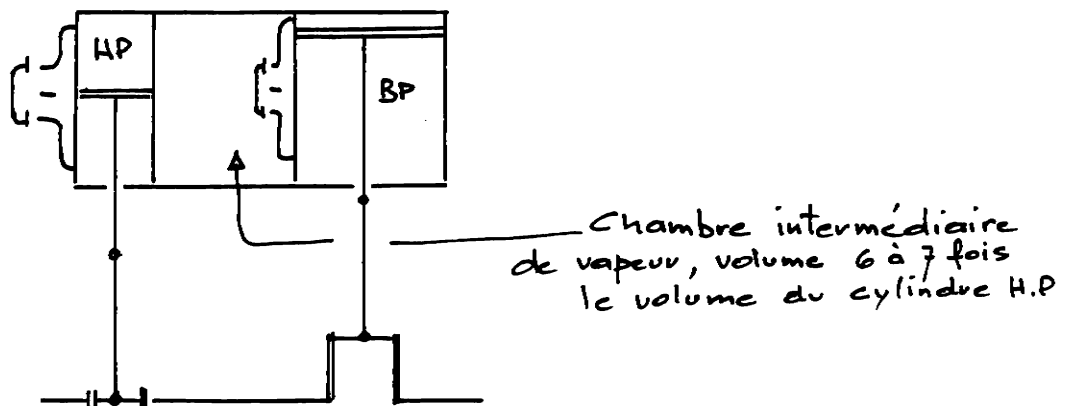
On fait travailler la haute pression sur un petit piston, son échappement alimente un grand piston à pression de vapeur réduite.

Il y a donc moins d'efforts mécaniques sur le petit piston, il y a moins de condensation de par des surfaces de déperditions moindres. Il y a moins d'effort sur le tiroir de par sa dimension réduite.

Du côté grand cylindre on peut plus facilement réaliser la détente jusqu'à une pression très faible. La machine prend moins de hauteur pour une même puissance etc. etc...



Sans entrer dans les détails, dans la machine WOOLF les 2 manivelles sont calées dans un même plan, ce qui rend la mise en marche et l'inversion difficile. Aussi a-t-on pensé de décaler les manivelles de 90° afin de garantir la mise en marche et l'inversion aisée. C'est la naissance de la machine " COMPOUND ".



Dans ce genre de machine il faut nécessairement utiliser des tiroirs à recouvrement. En effet, si la partie HP travaillerait en admission totale, il n'y aurait pas de détente et on pourrait tout aussi bien alimenter la chambre intermédiaire en vapeur haute pression, rendant ainsi inutile le piston HP.

Pour démarrer cette machine, il faut nécessairement que la partie HP ait été en mouvement. Avec le piston au PMH ou PMB, la chambre intermédiaire n'est pas alimentée et la partie BP ne reçoit donc pas de vapeur. En pratique on utilise un by-pass sur la vapeur HP pour introduire de la vapeur dans la chambre intermédiaire pendant le démarrage.

Sans entrer dans plus de détails, on peut tirer nos conclusions en ce qui concerne nos machines modélistes.

- On travaille à des pressions très basses, de 2 à 4 bar, donc pas de problèmes de résistance de matériaux ni de condensations exagérées.
- On développe des puissances très basses, donc pas de machines de très grande hauteur.
- La détente de vapeur dans nos petites machines est très limitée et difficilement contrôlable, donc pas de nécessité de viser un rendement optimum (on en reparlera plus loin).
- On désire une mise en marche et une inversion très " docile " donc une machine à 2 pistons identiques dont les manivelles sont décalées de 90° satisfait pleinement.

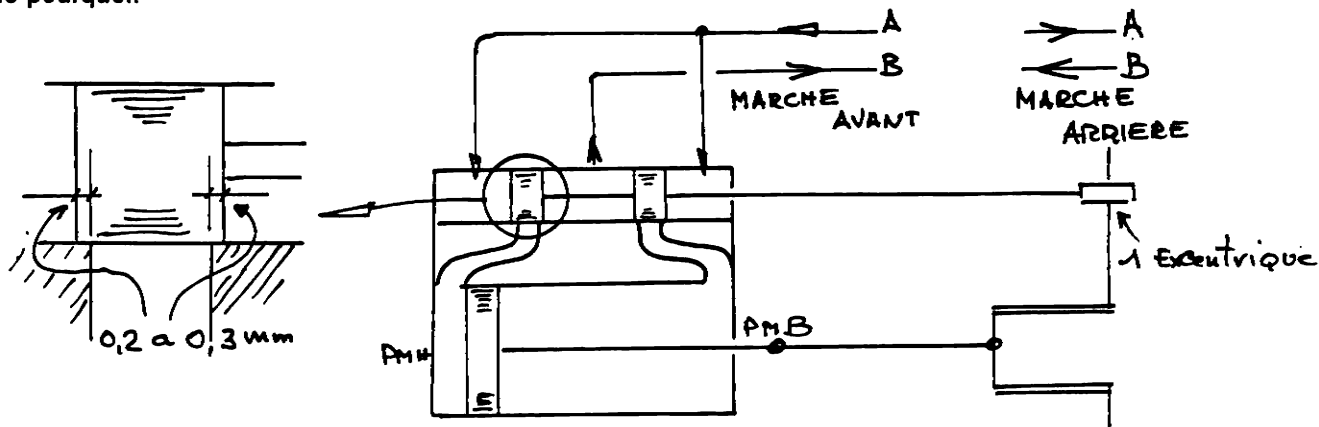
En conclusion, opter pour une machine Compound ou à triple expansion est peut-être justifiée du point de vue esthétique, mais c'est aussi sont unique raison d'être à mes yeux.

Le choix de la machine étant déterminé, c.à.d. à 2 cylindres identiques décalés de 90°, il reste à déterminer le choix de la distribution.

Tiroirs plans ou cylindriques, attaque par 1 ou 2 excentriques.

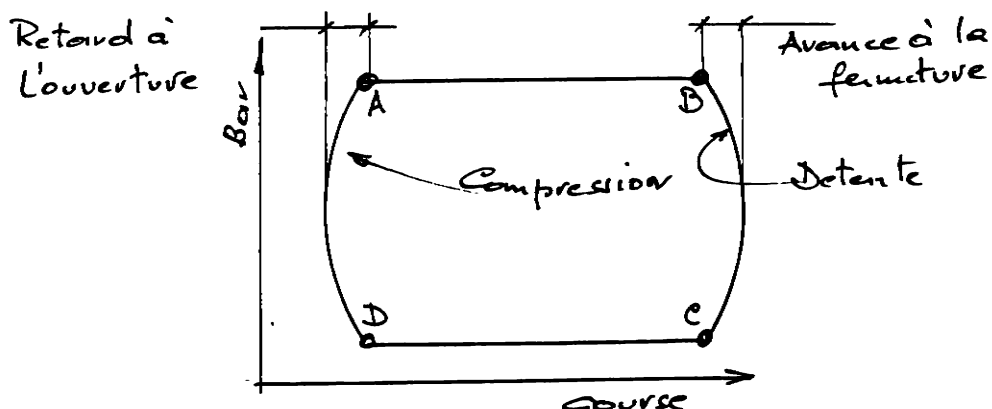
Pour ce qui concerne les tiroirs, on opte pratiquement toujours pour le tiroir plan, tout simplement parce qu'il se rôde de lui-même, étant "plaqué" contre la glace de distribution par la pression de la vapeur.

Le tiroir cylindrique sera utilisé sur les machines à commande par 1 excentrique, un exemple ci-après montre le pourquoi.

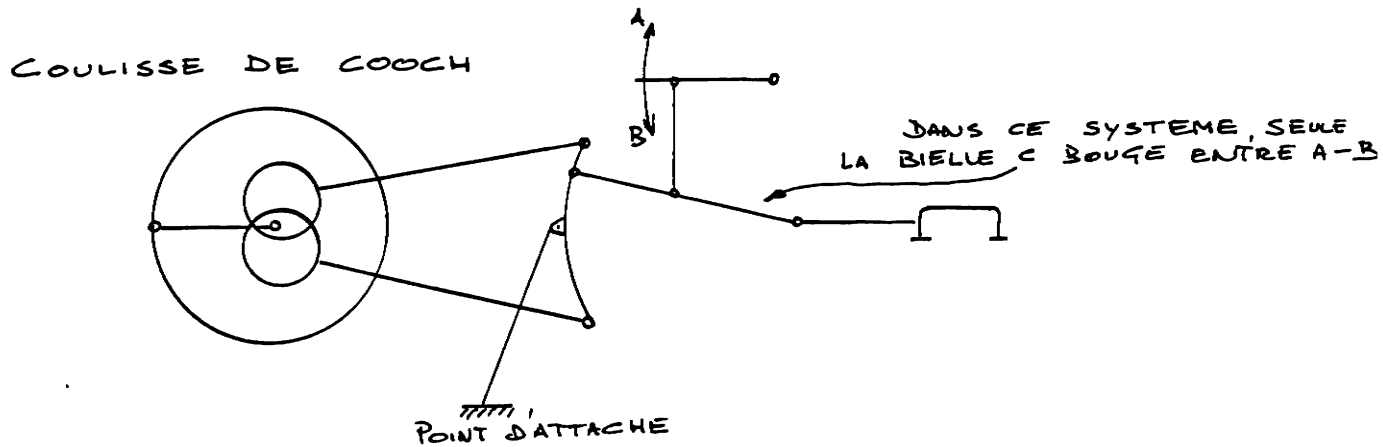
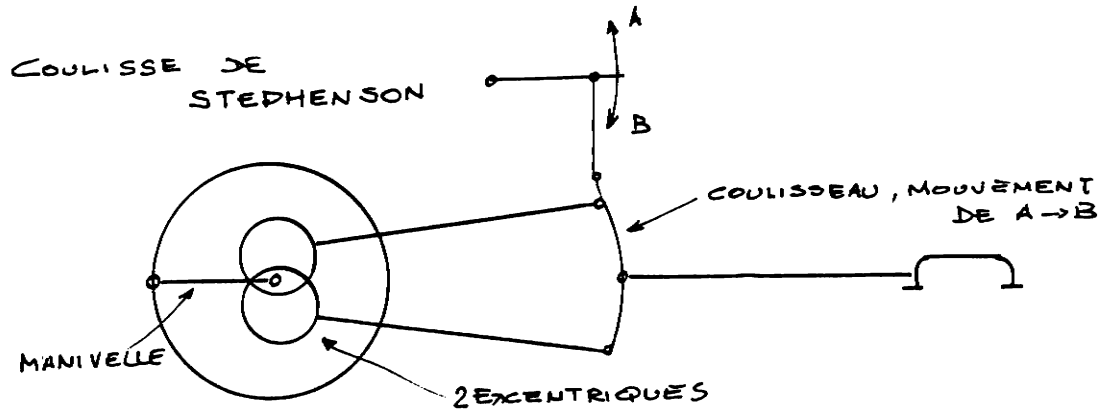


Le schéma montre clairement que si l'on inverse le sens de l'entrée et de sortie de la vapeur, la machine tournera dans un sens ou dans l'autre.

On remarquera cependant que le cycle de fonctionnement est identique à celui d'une machine oscillante modéliste. Il permet l'utilisation de vapeur à plus haute pression ($\pm 2,5$ bar en oscillant de 2,5 à ± 5 ou plus si désiré).

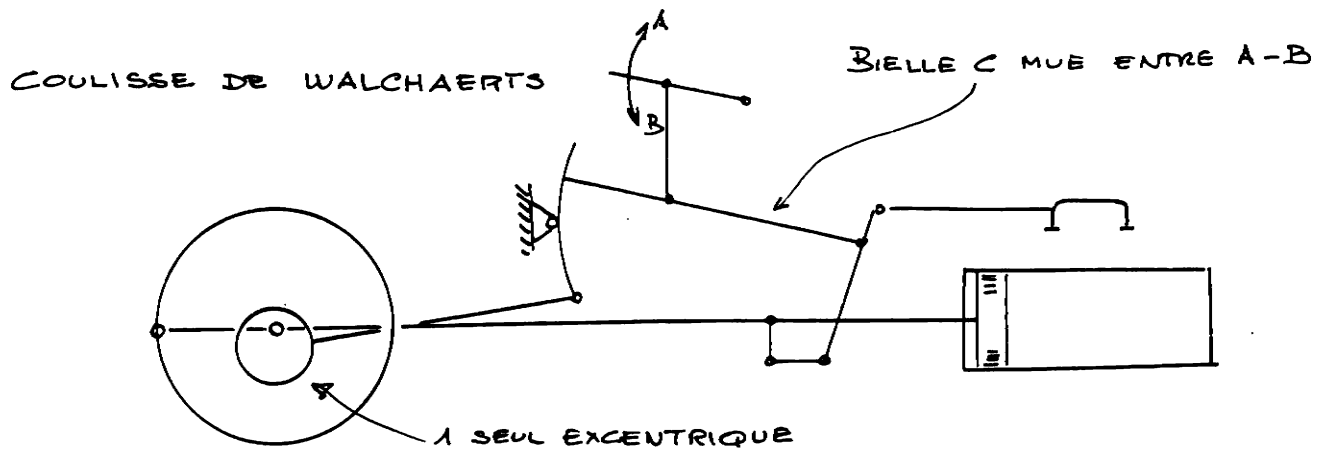


Revenant au tiroir plan, il y a moyen de le commander de plusieurs façons.
 Ci-après quelques dispositifs inventés par différents savants aux cours des siècles passés.
 Après ce petit tour de piste, nous reviendrons cependant à la coulisse de Stephenson, qui est la plus employée en modélisme de par sa simplicité (relative).



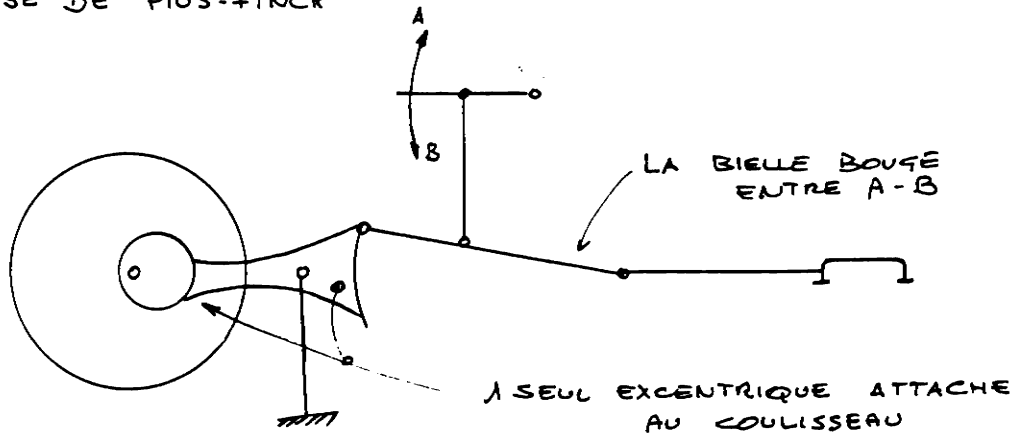
COULISSE D'ALLAN OU DE TRICK

Ce système combine les 2 précédents et est employé dans des industries où l'inversion de machine doit être la plus rapide possible.

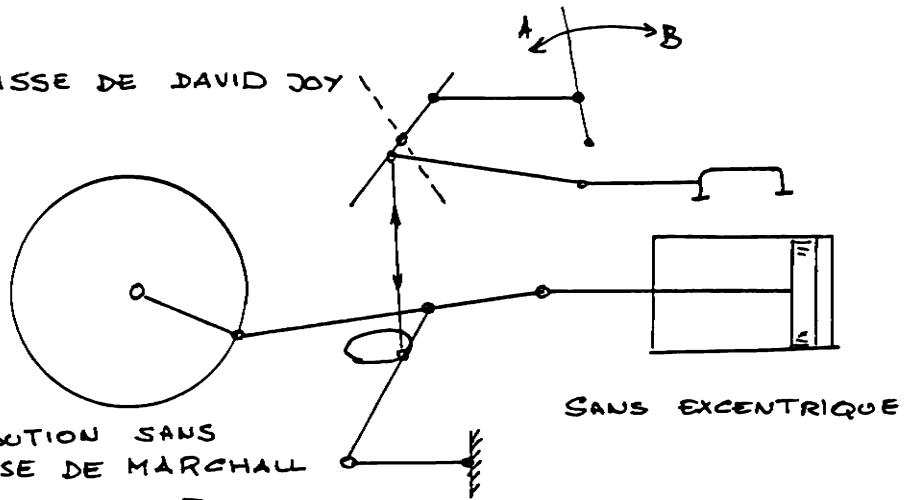


Ce système est employé principalement dans le chemin de fer.

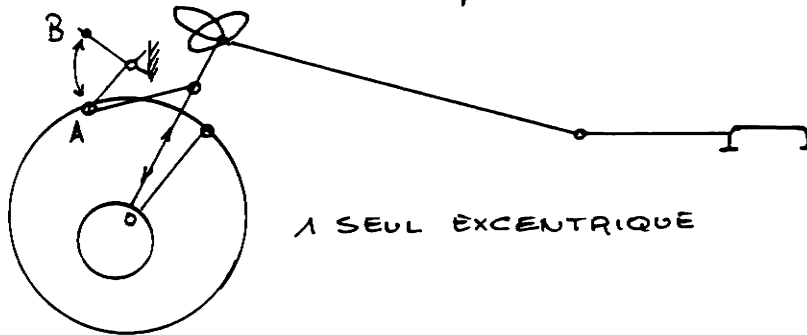
COULISSE DE PIUS-FINCK



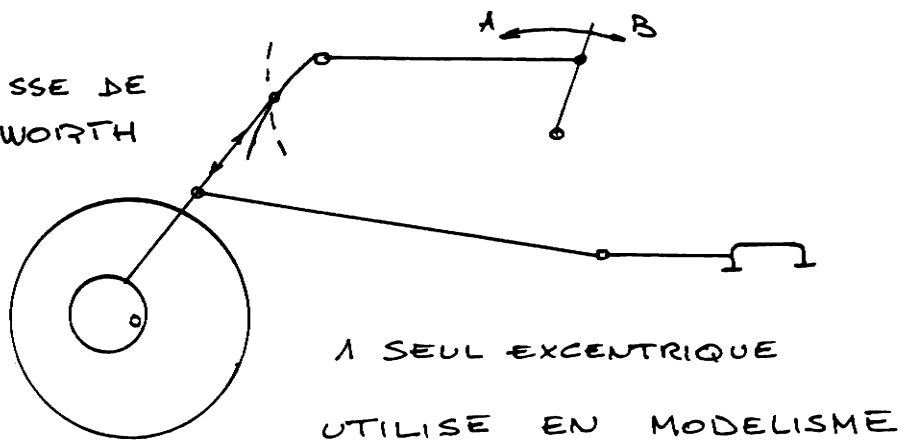
COULISSE DE DAVID JOY



DISTRIBUTION SANS COULISSE DE MARCHALL

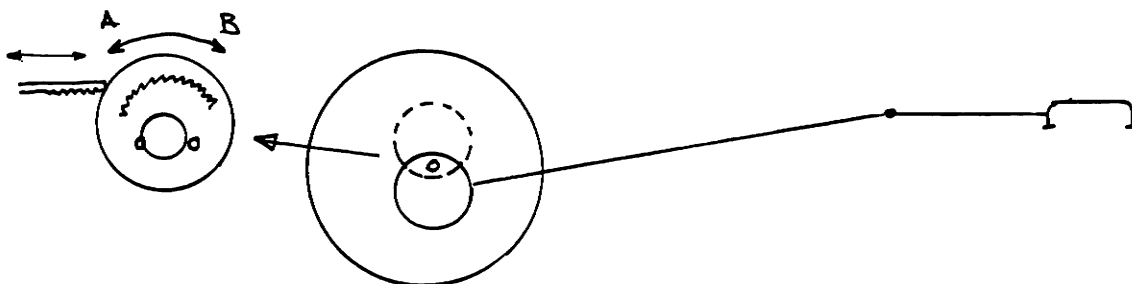


COULISSE DE HACKWORTH



Distribution par rotation de l'arbre porte excentriques système MAZELINE et JOSSÉL

Un système par engrenage permet de positionner l'excentrique en A ou B l'angle α étant équivalent à celui obtenu avec 2 cannes.



Le même système a été amélioré par MAUDSLEY, qui en profite pour raccourcir la longueur de la machine en plaçant l'arbre à excentrique parallèlement au vilebrequin principal. Ce système est utilisé en modélisme, étant donné le gain de place en longueur.

Ci-après un exemple rencontré en pratique.

Par opposition à la machine à vapeur classique qui transforme le mouvement rectiligne alternatif en mouvement rotatif via un seul arbre comportant les bielles/manivelles et excentriques, le système MAUDSLEY fait appel à 2 arbres parallèles.

Le premier arbre porte le système bielles-manivelles relié aux tiges de pistons, le second est doté des excentriques actionnant les tiroirs de distribution de vapeur.

Les 2 arbres sont reliés solidairement par deux trains d'engrenages ayant la particularité de pouvoir être manœuvrés en ce qui concerne le train supérieur. Le renversement de marche de la machine est basé sur ce principe, un croquis ci-après explicite le procédé.

L'avantage principal du système réside dans les faits qu'il y a gain de place en longueur de machine et d'autre part qu'il ne faut utiliser qu'un seul excentrique par cylindre.

En observant la fig. II on imagine la tête de la bielle moteur en position P. Compte tenu de l'avance à l'ouverture du tiroir, par exemple 23° , la manivelle d'excentricité se trouve en T. Avec la machine à l'arrêt, en opérant un mouvement du train d'engrenages E_3-E_4 , du point A vers le point A_1 , soit un angle de 32° , on s'aperçoit que l'axe des excentriques fait une rotation de 134° . Le point T se déplace T_1 . Ce mouvement entraîne ipso facto le déplacement du tiroir qui se trouve dans une position telle que nécessaire pour faire tourner la machine en sens inverse.

Une petite machine classique pouvant pousser des coques à déplacement jusqu'à 1,5 m, et construite à plusieurs exemplaires pour des modélistes réputés a les caractéristiques suivantes :

Ø Pistons	9 mm.	engrenages $E_1 - E_2$	40 dents
Nombre	2	engrenages $E_3 - E_4$	30 dents
Course	15 mm.	module	0,5
Excentrique	5 mm.	entr'axes	24 mm.
Remplissage	85 %		

Ouverture vapeur dans glace

Alimentation	1,75 mm.
Echappement	2 mm.
Pression vapeur	1 à 4 bar

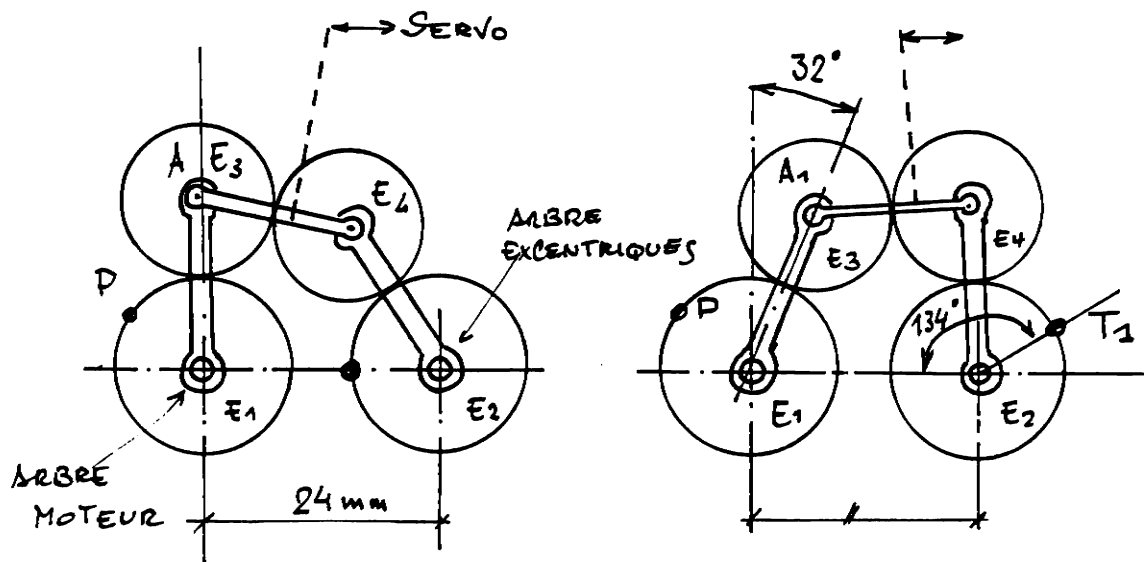
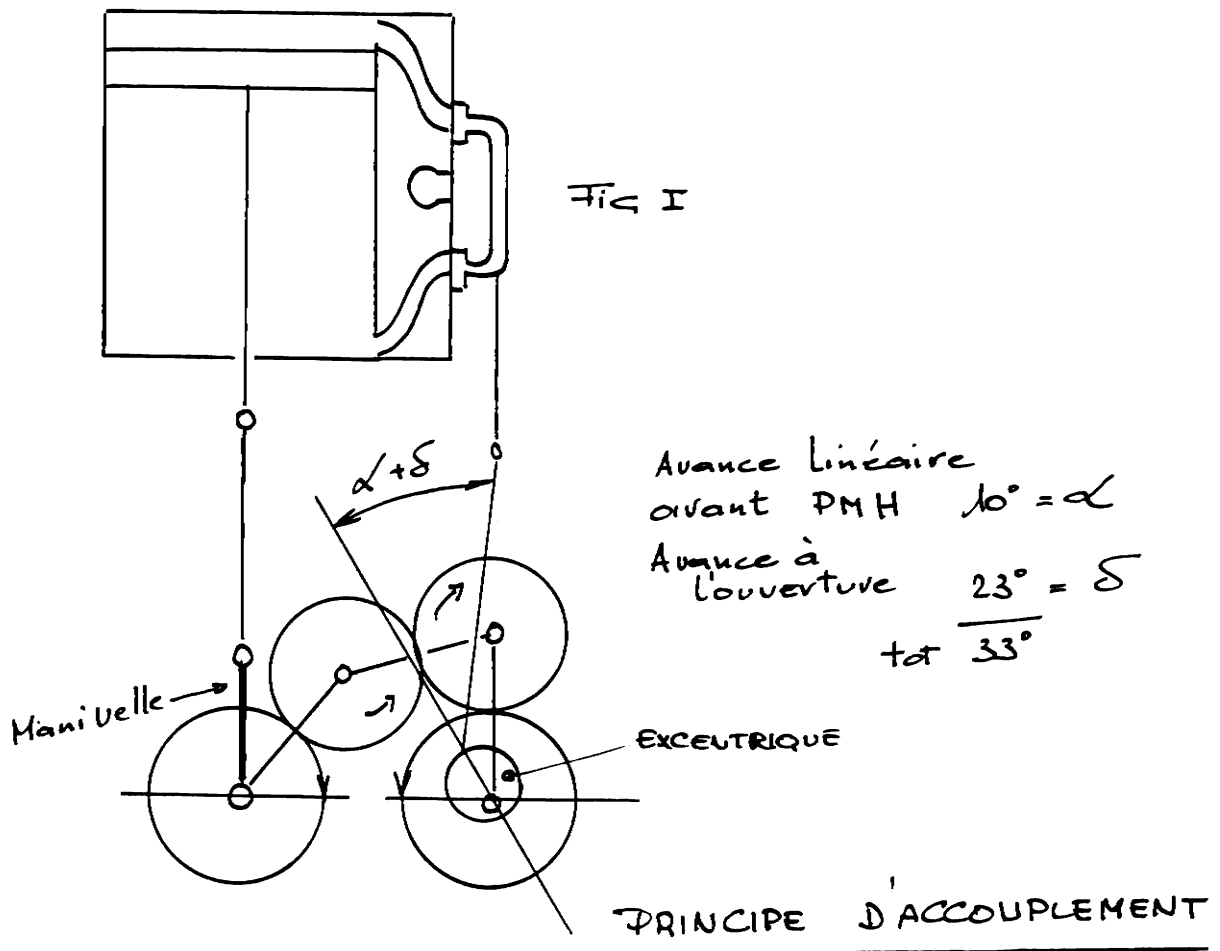
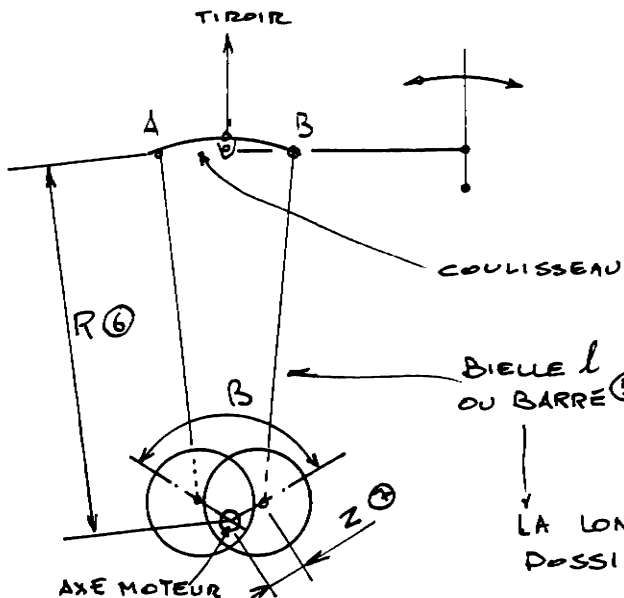


FIG II

PRINCIPE D'INVERSION DE MARCHÉ

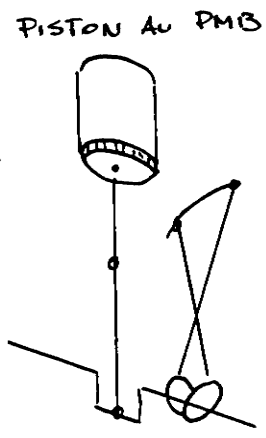
Revenons à la coulisse de Stephenson, qui malgré son apparence complexe est relativement facile à réaliser.



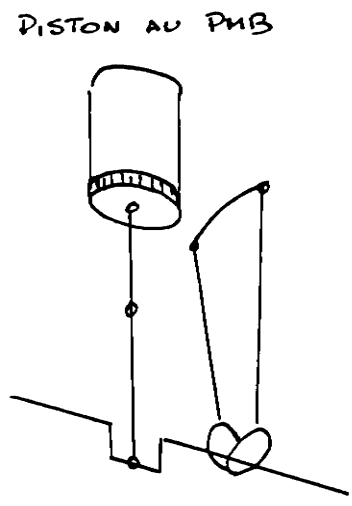
$R =$ RAYON DE COURBURE DU COULISSEAU
 $Z =$ RAYON D'EXCENTRICITE
 DISTANCE A-B = $\pm 6 \times Z$ (+ SOUVENT $12 \times$)
 EN MODELSME

LE RAYON DE COURBURE R EST EGAL A LA DISTANCE ENTRE LE CENTRE DE L'AXE MOTEUR ET LE POINT A, LE PETIT ANGLE β ETANT DIRIGE VERS LE COULISSEAU
 LA LONGUEUR DES BIELLES = LE PLUS LONG POSSIBLE, SUIVANT HAUTEUR MACHINE

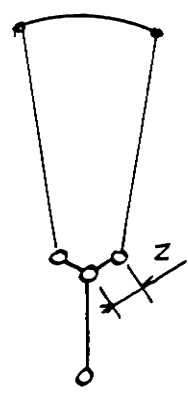
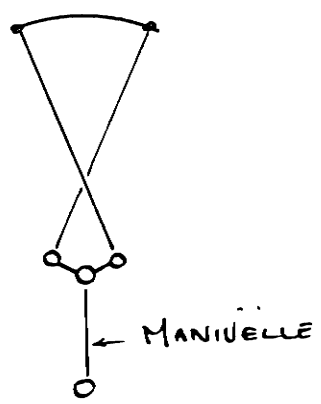
Les excentriques sont en somme des remplaçantes de petites manivelles ayant un rayon d'excentricité Z. Compte tenu de l'avance α ainsi que de l'obliquité des bielles (plus elles sont petites et plus elles forment un grand angle entre elles) il y a moyen de caler les excentriques de 2 façons :



BIELLES CROISEES



BIELLE OUVERTE



V.B. POUR LE REGLAGE LA MANIVELLE SE TROUVE AU PMB. APRES UN $\frac{1}{2}$ TOUR LE BIELLES CROISEES SERONT OUVERTES; LES BIELLE OUVERTES SERONT CROISEES

Avec le calage à bielles ouvertes le déplacement du point T (axe tiroir) est plus important que dans le cas de bielles croisées.

Dans le cas des bielles ouvertes, on constate que lorsque l'on bouge le coulisseau de l'extrémité vers le centre :

- une augmentation de l'avance sans changer notablement les temps d'admission.

Dans le cas de bielles croisées :

- une diminution du temps d'admission sans changer notablement l'avance à l'admission.

Ce dernier montage est pratiquement toujours utilisé en marine. On peut moduler la puissance de la machine en mettant la coulisse dans une position intermédiaire, le ralenti de la machine n'est pas affecté du fait que l'angle d'avance α ne change pratiquement pas.

En modélisme, une commande à 2 voies est donc suffisante car il n'est pas nécessaire de moduler l'ouverture de la vanne de sortie vapeur à la chaudière. Celle-ci reste toujours grande ouverte, la modulation se faisant sur la coulisse.

Du fait du faible mouvement en position milieu de la coulisse, la lèvre " e " ③ du tiroir ne découvre pratiquement pas l'ouverture d'admission de vapeur " s " ①, la machine sera donc à l'arrêt.

Il ne reste plus maintenant qu'à dessiner une machine. La puissance à admettre, le diamètre des pistons ainsi que la course ont été détaillés dans un de mes cahiers précédents.

Le croquis ci-dessous montre une machine capable de mouvoir une maquette de ± 1 m à une vitesse convenable (comme on dit).

