

COMPARAISON

ENTRE

les Locomotives compound et les Locomotives à simple expansion

MUNIES D'UNE DISTRIBUTION ORDINAIRE OU D'UNE DISTRIBUTION PERFECTIONNÉE

Par M. J. NADAL,

INGÉNIEUR DES MINES.

INCONVÉNIENTS
DES
DISTRIBUTIONS
À TIROIR UNIQUE
ET MOYENS
EMPLOYÉS
JUSQU'ICI
POUR
Y REMÉDIER.

Les distributions basées sur l'emploi du tiroir unique à coquille, ordinairement employées dans les locomotives, présentent une simplicité incontestable, mais la vapeur travaille dans des conditions peu économiques. D'abord on ne peut pas faire varier, indépendamment les unes des autres, les différentes phases qui constituent le cycle parcouru par la vapeur, en sorte que l'échappement anticipé et la compression — phases nuisibles — ont une durée exagérée quand le degré d'admission est faible. En second lieu, la vapeur, pour aller de la boîte du tiroir dans le cylindre, doit parcourir une conduite dont le volume et la surface ont des valeurs relativement élevées.

Ce volume constitue une partie de l'espace nuisible, un peu plus de la moitié. En réalité, l'augmentation de l'espace nuisible n'est pas toujours un inconvénient ; elle est même quelquefois nécessaire.

Cette surface forme plus de la moitié des surfaces refroidissantes qu'on appelle ordinairement parois couvercle, elle a une influence très nuisible en ce qu'elle augmente considérablement les condensations de vapeur.

On remédie au premier défaut — invariabilité relative des phases de la distribution — en employant des tiroirs doubles analogues aux types Farcot, Meyer, Camille Polonceau, etc. Mais l'économie qui résulte de l'emploi de ces dispositifs est trop peu importante pour compenser la complication du

mécanisme et l'augmentation des frottements ; les essais qui ont été entrepris dans ce sens ont échoué.

On peut remédier au second défaut — grande étendue des surfaces refroidissantes — avec les tiroirs cylindriques appliqués par M. l'Inspecteur général Ricour, aux machines des chemins de fer de l'État. On obtient ainsi une économie notable de vapeur en même temps qu'une diminution des résistances passives, les tiroirs cylindriques étant équilibrés à peu près complètement. Mais l'étanchéité de ces tiroirs est plus difficile à réaliser que celle des tiroirs plans et pour obtenir tous les bons résultats qu'ils peuvent donner, il faut une surveillance active et une construction soignée.

Chacun des deux systèmes précédents laisse intact l'un ou l'autre des inconvénients des tiroirs à coquille.

De nouvelles distributions ont été récemment imaginées dans le but de diminuer les durées de l'échappement anticipé et de la compression, le volume de l'espace nuisible et le laminage de la vapeur.

Je citerai en premier lieu la distribution américaine système Strong (1). Elle se compose de quatre tiroirs plans à grille ; la marche des deux tiroirs d'admission est complètement indépendante de celle des deux tiroirs d'échappement, grâce à l'emploi de deux coulisses. On peut ainsi faire varier à volonté les phases de la distribution. Les tiroirs à grille ont pour effet de réduire considérablement le laminage de la vapeur. En ce qui concerne le volume et la surface de l'espace nuisible, il n'y a aucune amélioration. Au fond la distribution Strong, d'ailleurs très compliquée, ne réalise pas un progrès bien important. D'après les essais effectués en Amérique, une locomotive munie de la distribution Strong a présenté une économie de 8,7 % sur une autre locomotive, semblable à la première, mais munie d'une distribution ordinaire.

Deux essais de distributions perfectionnées ont été effectués en France, depuis 1888.

Le premier en date a été celui de la distribution Bonnefond, qui a été appliquée à un certain nombre de machines à grande vitesse des chemins de fer de l'État.

Dans la distribution Bonnefond, les phases d'émission anticipée et de compression ont une durée constante quel que soit le cran de marche. La durée de l'admission est réglée par un dispositif à dé clic. Les deux tiroirs d'admission sont plans ; les deux tiroirs d'émission l'étaient aussi dans le type primitif ; ils ont été depuis remplacés par des tiroirs cylindriques système Ricour.

(1) *Revue Générale*, N° d'Octobre 1887, page 248.

La distribution Bonnefond permet d'obtenir une très bonne utilisation de la vapeur et, partant, une augmentation de la puissance des machines. Mais il est désavantageux qu'on ne puisse pas faire varier les phases d'émission et de compression. En outre cette distribution très compliquée est d'un réglage difficile.

La C^{ie} d'Orléans a appliqué à quelques-unes de ses machines une distribution à quatre tiroirs cylindriques, genre Corliss, due à MM. Durant et Lencachez (1). Les tiroirs d'admission et ceux d'échappement sont commandés par deux bielles de coulisseau distinctes. Les deux coulisseaux jouent dans la même coulisse — du type Gooch — et leurs bielles sont reliées par une entretoise qui les rend solidaires; elles sont donc déplacées par le même arbre de changement de marche. Dans la marche avant, le coulisseau des tiroirs d'émission est plus éloigné du centre de la coulisse que celui des tiroirs d'admission. Par conséquent les phases d'échappement anticipé et de compression ont une durée moins longue, pour une admission donnée, que si on n'avait qu'un seul coulisseau, comme dans la distribution ordinaire. La marche arrière, où c'est le contraire qui a lieu, est sacrifiée, ce qui n'est pas un grand inconvénient.

Il est intéressant de connaître quelles sont les modifications que le système Durant-Lencachez apporte dans les phases de la distribution. Nous les déterminerons en nous servant de l'épure circulaire de Zeuner dont les résultats ne sont, il est vrai, qu'approchés, mais le sont suffisamment pour la comparaison que nous nous proposons de faire.

On sait qu'étant donné une distribution à coulisse renversée, si on appelle δ l'angle d'avance, l la longueur des bielles d'excentrique, r le rayon d'excentricité, c la demi-longueur de la coulisse, u la distance du coulisseau au centre de la coulisse et α l'angle de manivelle, le déplacement z du tiroir à partir de sa position moyenne est donné par l'équation :

$$z = r \left[\sin \delta + \frac{c}{l} \cos \delta \right] \cos \alpha + r \frac{u}{c} \left[\cos \delta - \frac{c}{l} \sin \delta \right] \sin \alpha,$$

qui représente en coordonnées polaires, z et α , un cercle passant par l'origine des coordonnées, duquel on déduit facilement les phases de la distribution.

Le tableau suivant permet de comparer, pour divers crans de marche, la distribution Durant-Lencachez avec la distribution ordinaire.

(1) *Annales des Mines*, 11^e livraison de 1893.

DURÉE DE L'ADMISSION.	AVANCE A L'ADMISSION.	AVANCE A L'ÉCHAPPEMENT ET COMPRESSION.	
		Système Durant-Lencachez.	Système ordinaire.
centièmes de course.	centièmes de course.	centièmes de course.	centièmes de course.
4,5	4,5	25	50
15	1,5	17	35
20	1	16	31
30	0,8	13	25
40	0,5	11	20
50	0,4	8,5	16
60	0,3	7	12

On voit que, dans la distribution Durant-Lencachez, l'échappement anticipé et la compression ont une durée à peu près moitié moins grande que dans la distribution ordinaire.

Ce n'est pas là le seul avantage. L'emploi de distributeurs cylindriques a pour effet de diminuer le volume de l'espace nuisible de près de moitié et sa surface d'un tiers environ.

Enfin, au point de vue mécanique, les tiroirs cylindriques ont moins de frottement que les tiroirs plans, mais aussi une étanchéité moins complète; ils sont à double introduction ou à double sortie, ce qui restreint le laminage de la vapeur.

ÉCONOMIE
QUE PROCURENT
LES
DISTRIBUTIONS
PERFECTIONNÉES

Nous allons examiner quelle est l'économie que procurent les distributions perfectionnées, au point de vue de l'utilisation de la vapeur.

Il y a trois points à considérer :

1^o Diminution de l'échappement anticipé et par suite prolongation de la détente;

2^o Diminution du volume de l'espace nuisible et de la phase de compression. Le premier fait dépend du second (sans que la réciproque soit vraie), car on ne peut songer à réduire l'espace nuisible qu'autant que la compression est modérée;

3^o Diminution de la surface de l'espace nuisible.

En ce qui concerne l'échappement anticipé, il n'y a avantage à le réduire qu'autant que la détente est courte ou que la vitesse est faible. Autrement, sur les diagrammes, la courbe d'échappement anticipé ne diffère pas beaucoup du prolongement de la courbe de détente. Par exemple, dans une locomotive à cylindres de 0^m44 de diamètre sur 0^m65 de course, où la pression initiale

est de 10 kilogs, l'admission de 20 %, la vitesse de trois tours par seconde, on fait une économie d'environ 2 % quand on réduit l'échappement anticipé de 31 % à 16 % de la course du piston.

L'influence de la réduction de l'espace nuisible et de celle de la compression peut se déterminer mathématiquement, avec rigueur, comme nous allons le voir.

Quel que soit le volume de l'espace nuisible et aussi quelle que soit la compression, cela n'influe pas sur la quantité de vapeur introduite pendant l'admission proprement dite (c'est-à-dire non compris l'avance) pourvu que la durée de l'avance à l'admission soit telle que la pression à la fin de la course soit égale à la pression sur le tiroir.

Soient : m la quantité de vapeur sensible (c'est-à-dire non compris la quantité de vapeur condensée) introduite pendant l'admission ;

v le volume de l'espace nuisible ;

γ_0 la densité dans le cylindre au début de la course supposée égale à la densité dans la boîte du tiroir ;

V l'espace engendré par le piston jusqu'à la fin de l'admission ;

La quantité de vapeur sensible, M , à la fin de l'admission est :

$$(1) \quad M = v \gamma_0 + m$$

et la densité :

$$\frac{v \gamma_0 + m}{v + V}$$

Supposons l'espace nuisible réduit de moitié. La quantité de vapeur sensible à la fin de l'admission est :

$$(2) \quad M' = \frac{v \gamma_0}{2} + m$$

et la densité :

$$\frac{\frac{v \gamma_0}{2} + m}{\frac{v}{2} + V}$$

Cette dernière densité est plus petite que celle du premier cas, car l'inégalité :

$$\frac{\frac{v \gamma_0}{2} + m}{\frac{v}{2} + V} < \frac{v \gamma_0 + m}{v + V}$$

se réduit à :

$$m < V \gamma_0$$

ce qui est évident, la densité moyenne de la vapeur dans le cylindre pendant l'admission étant inférieure à la densité dans la boîte du tiroir.

Soient : N et N' les quantités de vapeur présente dans le cylindre à la fin de l'émission quand l'espace libre n'est pas réduit et quand il l'est de moitié.

On a, en faisant la différence des expressions (1) et (2) :

$$M' = M - \frac{v \gamma_0}{2}$$

On a également, γ_1 étant la densité à la fin de l'émission (je la suppose constante pour simplifier ; en réalité elle augmente quand l'espace nuisible diminue et il est nécessaire de tenir compte dans l'application de cette variation d'ailleurs très faible) :

$$N' = N - \frac{v \gamma_1}{2}$$

Les quantités de vapeur sensible dépensée étant dans le premier cas : $M-N$, dans le second cas : $M'-N'$, elles diffèrent de :

$$M - N - (M' - N') = \frac{v}{2} (\gamma_0 - \gamma_1)$$

Donc, quand l'espace nuisible est réduit de moitié, on dépense en moins une quantité de vapeur égale au produit du demi volume de l'espace nuisible par la différence des densités au début de la course et à la fin de l'émission.

Mais les travaux effectués ne sont pas les mêmes. Dans le second cas, les courbes de détente et de compression se trouvent : la première au-dessous, la seconde au-dessus des mêmes courbes correspondant au premier cas. Il y a donc une diminution du travail qu'on calcule en mesurant les surfaces comprises entre ces courbes.

On peut supposer pour mesurer les surfaces que les courbes sont des hyperboles équilatères, c'est-à-dire que la détente et la compression s'effectuent conformément à la loi de Mariotte.

Il n'en est pas tout à fait ainsi en réalité. Si la compression était adiabatique, la courbe des pressions serait donnée par la formule de Zeuner : $p v^\mu = \text{constante}$, et se trouverait au-dessus de l'hyperbole équilatère. A cause des condensations, la courbe réelle se déplace à partir de la courbe : $p v^\mu = \text{const.}$ vers l'hyperbole et, suivant l'importance plus ou moins grande de ces condensations, la courbe réelle est au-dessus de l'hyperbole ou bien au-dessous ; ce dernier cas se produit souvent en pratique. Principalement à la fin de la compression la courbe réelle est presque toujours au-dessous de l'hyperbole, parce que les condensations croissent rapidement du commencement à la fin de la compression.

On est donc amené à chercher la surface comprise entre deux hyperboles équilatères. On connaît un point de chacune d'elles : la fin de l'admission pour les courbes de détente et la fin de l'échappement pour les courbes de compression.

Les équations de ces hyperboles sont :

$$x y = \alpha,$$

pour celles qui correspondent à l'espace nuisible réduit ;

$$(x' + \varepsilon) y = \beta$$

pour celles qui correspondent à l'espace nuisible non réduit (ε étant l'abscisse qui représente le demi-volume de cet espace).

L'élément infiniment petit de la surface à mesurer est donné par l'expression :

$$(x - x') dy,$$

dont l'intégrale est :

$$\int (x - x') dy = \int \left(\frac{\alpha}{y} - \frac{\beta}{y} + \varepsilon \right) dy = (\alpha - \beta) \text{Log. } y + \varepsilon y.$$

Cette intégrale doit être prise du commencement à la fin de la détente pour les courbes de détente et du commencement de la compression à la fin de la course pour les courbes de compression.

Nous donnons ci-après un exemple des résultats qu'on peut obtenir par ce moyen. Les chiffres qu'on va lire ont été obtenus par le calcul à l'aide des méthodes d'étude de la dépense et du travail des machines que j'ai développées dans les *Annales des Mines* (1).

Considérons un cylindre de locomotive ayant 0^m,44 de diamètre, 0^m,65 de course de piston, fonctionnant à la vitesse de 3 tours par seconde, avec une pression initiale de vapeur de 9^{kgs},6, une admission de 20 %, une avance de 4 % et une compression de 30 %.

Supposons que l'espace nuisible soit de 9 % du volume du cylindre, puis réduisons cet espace nuisible de moitié, à 4,5 %.

Le premier cas est celui des locomotives à voyageurs de la Compagnie d'Orléans. Les chiffres de dépense obtenus par le calcul sont d'accord avec ceux obtenus dans la pratique. Le second cas est tout théorique.

Dans le premier cas, les points caractéristiques du diagramme sont : pression fin admission, 8^{kgs}, pression fin émission, 1^{kg},7.

La dépense est de 12^{kgs},13 de vapeur humide (humidité supposée : 12 %) par cheval-heure.

(1) Juin 1893 et Juillet 1894.

Dans le second cas, les points caractéristiques du diagramme sont : pression fin admission $7^{\text{kgs}},72$, pression fin émission, $1^{\text{kg}},75$.

La dépense est de $11^{\text{kgs}},73$ par cheval-heure.

L'économie par rapport au premier cas est donc :

$$\frac{12,13 - 11,73}{12,13} = 0,033.$$

Il est nécessaire de remarquer que, malgré la réduction de moitié de l'espace nuisible, la pression à la fin de la course n'est pas supérieure à la pression sur le tiroir ; sinon nous aurions trouvé une économie moindre.

Voyons maintenant l'effet de la diminution de la compression, l'espace nuisible s'élevant à $4,5\%$ du volume du cylindre.

Le calcul s'effectue toujours par le même procédé.

1^o Compression de 25% . Dépense : $11^{\text{kgs}},29$ par cheval. Économie par rapport au premier cas :

$$\frac{12,13 - 11,29}{12,13} = 0,069.$$

2^o Compression de 16% . Dépense : $11^{\text{kgs}},09$. Économie : $0,0857$.

3^o Compression de 10% . Dépense : 11^{kgs} . Économie : $0,093$.

On peut tirer de ce qui précède les conclusions suivantes :

La réduction de la durée de la compression et la réduction simultanée de l'espace nuisible produisent chacune une économie à peu près égale.

Des compressions de 16% et 10% donnent des résultats peu différents. Il n'y a donc pas grand avantage à trop réduire la compression.

La distribution Durant-Lencachez, qui abaisse la compression de 34 à 16% , en même temps que l'espace nuisible se trouve réduit à peu près de moitié, procure donc une économie de $8,5\%$ (au cran d'admission de 20%).

Elle présente encore l'avantage de diminuer d'un tiers la surface de l'espace nuisible. Pour une admission de 20% et une vitesse de trois tours par seconde, la quantité de vapeur condensée est environ 25% de la dépense totale. La condensation s'effectue pour les trois quarts sur la surface de l'espace nuisible (parois couvercle) et pour un quart sur la surface cylindrique. Donc en réduisant d'un tiers la surface de l'espace nuisible, on réduit d'un quart la quantité de vapeur condensée, ce qui procure une économie de $6,25\%$.

En définitive, la distribution Durant-Lencachez doit donner une économie totale de $8,50\% + 6,25\% = 14,75\%$.

Bien entendu, ce chiffre ne s'applique qu'au cas examiné et ne serait pas le même pour un autre cran de marche et une autre pression d'admission, ainsi que pour un autre cylindre. Il est voisin du maximum parce qu'il se déduit de conditions de marche qui sont les plus avantageuses.

L'étude que nous venons de faire, dans laquelle l'intervention d'une distribution d'un type spécial n'est qu'accessoire, démontre clairement qu'une distribution perfectionnée, quelle qu'elle soit, ne peut donner de meilleurs résultats que ceux indiqués ci-dessus.

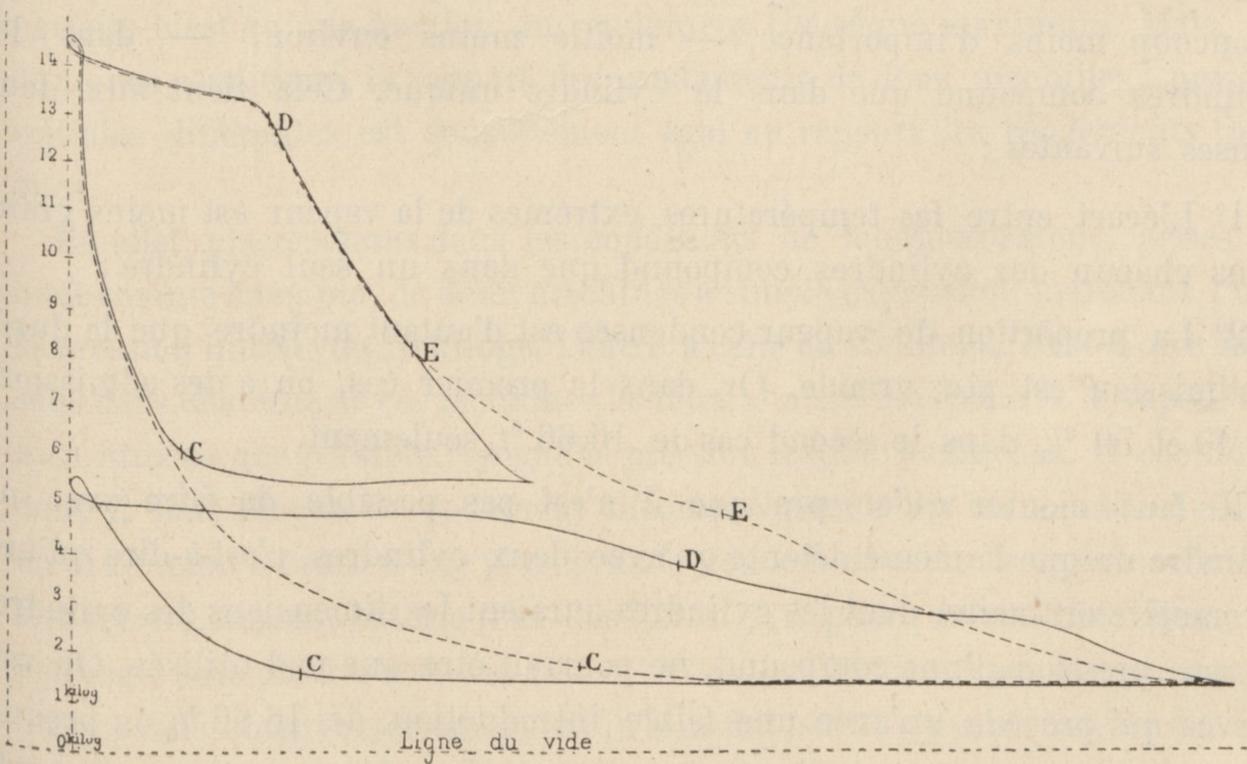
Une machine compound est-elle susceptible de donner le même avantage ou un avantage supérieur?

Pour nous en rendre compte nous allons examiner quelle différence il y a entre une machine compound et une machine à simple expansion munie d'une distribution ordinaire et travaillant avec la même pression initiale et la même détente, ce qui exige que ses cylindres soient égaux aux cylindres à basse pression de la machine compound.

Considérons la locomotive compound à grande vitesse de la C^{ie} du Nord marchant à la vitesse de 3 tours par seconde avec des admissions de 40 % au cylindre à haute pression (diamètre : 0,34 ; course : 0,64) et de 50 % au cylindre à basse pression (diamètre : 0,53 ; course : 0,64).

Le travail effectué est de 815 chevaux et la dépense de 8 kil. 816 d'eau par cheval-heure, la proportion d'humidité étant supposée de 8 % (1).

La machine à simple expansion constituée par le cylindre à basse pression seul devrait fonctionner avec une admission de 16,66 %, correspondant à 40 % dans le cylindre à haute pression. La compression serait alors de 43,7 % (diagramme en traits ponctués de la figure).



(1) *Annales des Mines*, Juillet 1894, p. 71.

Le travail effectué s'élèverait à 849 chevaux et la dépense à 9^{kgs.}7 par cheval-heure, avec 8 % d'humidité.

D'où en faveur du système compound une économie de :

$$\frac{9,7 - 8,816}{9,7} = 0,0911, \text{ soit } 9,11 \%$$

Quelle est exactement la cause de cette économie ?

Elle réside uniquement dans la différence entre les condensations de vapeur.

En effet, si nous calculons la dépense de vapeur sensible seule, nous trouvons qu'elle est la même dans les deux cas, à 1 % près en faveur du système compound. Cela s'explique facilement d'après l'examen des diagrammes. La masse de vapeur sensible présente dans le cylindre à haute pression ou dans le cylindre unique, à la fin de l'admission, est la même dans les deux cas. La masse de vapeur sensible, à la fin de l'émission au cylindre à haute pression, est supérieure à celle qu'il y a dans le cylindre unique à la fin de l'émission. Donc la dépense est moins grande dans le système compound que dans l'autre. Mais, d'autre part, le travail est aussi moins grand, à cause de la perte due à la chute de pression au réservoir intermédiaire. De sorte que le rendement calculé sans tenir compte des condensations est finalement le même.

Mais si l'on en tient compte, on reconnaît que la perte de vapeur a beaucoup moins d'importance, — moitié moins environ, — dans les cylindres compound que dans le cylindre unique. Cela tient aux deux causes suivantes :

1° L'écart entre les températures extrêmes de la vapeur est moins grand dans chacun des cylindres compound que dans un seul cylindre ;

2° La proportion de vapeur condensée est d'autant moindre que la durée d'admission est plus grande. Or, dans le premier cas, on a des admissions de 40 et 50 %, dans le second cas de 16,66 % seulement.

Il faut ajouter qu'en pratique il n'est pas possible de faire avec un cylindre unique la même détente qu'avec deux cylindres, c'est-à-dire qu'une locomotive ordinaire, dont les cylindres auraient les dimensions des cylindres à basse pression d'une compound, ne pourrait être que mal utilisée. On voit par ce qui précède qu'avec une faible introduction de 16,66 % on produit une grande somme de travail, assez rarement dépassée en pratique. De sorte que, avec une telle machine, on ne pourrait marcher normalement qu'à

des admissions très réduites et en serrant le régulateur : conditions désavantageuses au point de vue de l'économie.

En définitive, dans une locomotive à simple expansion, même si elle est munie d'une distribution perfectionnée, la pression initiale de la vapeur ne peut guère dépasser 10 kil. et l'emploi des hautes pressions, — de 15 kil. par exemple, — n'est pratiquement réalisable qu'avec le système compound.

Il est assez facile de se faire une idée de cette économie. D'après le principe de Carnot, le rendement maximum théorique est : $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ T_1 et T_2 , étant les températures absolues extrêmes du cycle réversible parcouru par le corps mis en œuvre.

Si on emploie de la vapeur à 15 kil. de pression, on a :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{197,4 - 100}{470,4} = 0,207$$

Si on emploie de la vapeur à 10 kil., on a :

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{179 - 100}{452} = 0,175$$

Le rapport des rendements est : $\frac{0,207}{0,175} = 1,182$.

Dans la réalité le rendement obtenu dans la machine à vapeur la plus parfaite n'est qu'une fraction du rendement théorique maximum. Mais, sous certaines conditions, le rapport des rendements de deux machines à pressions initiales différentes est sensiblement égal au rapport des rendements théoriques.

En effet, plaçons-nous dans les conditions de fonctionnement, prises plus haut comme exemple, de deux machines à simple expansion, marchant l'une à la pression initiale de 10 kilogs, l'autre à celle de 15 kilogs, c'est-à-dire supposons dans chacune de ces machines la détente aussi complète et la vapeur aussi bien utilisée que possible. Quand la pression initiale augmente, le coefficient, dont il faut affecter le rendement théorique pour avoir le rendement réel, va en diminuant à cause d'une plus grande condensation sur les parois, d'un plus fort refroidissement extérieur et des fuites. Au point de vue théorique, nous pouvons faire abstraction des fuites. Nous ne tiendrons pas compte non plus du refroidissement extérieur, parce qu'il ne fait perdre qu'une quantité de vapeur inférieure à 1 % de la dépense totale. (1)

(1) *Annales des Mines*, Juillet 1894, p. 49.

Quant à la proportion de vapeur condensée, elle n'augmente pas proportionnellement à la différence des températures extrêmes. En admettant cette proportionnalité et une condensation de 24 % dans la machine à plus basse pression, un calcul simple montre que le rendement de la machine à haute pression se trouverait réduit de 5 % et que le rapport des rendements ne serait plus que 1.123. Mais le calcul détaillé de la quantité de vapeur condensée prouve que la proportionnalité admise n'est pas exacte et qu'en tenant compte de la perte réelle, le rapport véritable des rendements est de 1.15. Donc l'emploi de vapeur à 15 kilogs au lieu de vapeur à 10 kilogs est de nature à procurer une économie de 15 % environ.

Si finalement nous comparons une machine compound à pression initiale de 15 kilogs avec une machine ordinaire à simple expansion et à pression initiale de 10 kilogs, l'économie donnée par la première est la suivante :

1° Économie due à la différence des pressions initiales.....	15 %
2° Économie due au système compound proprement dit, environ..	9 %
TOTAL.....	24 %

Ce chiffre, déduit des conditions de marche les plus avantageuses, est voisin du maximum.

Nous avons vu plus haut qu'une machine simple à distribution perfectionnée peut donner une économie de 15 %, sans modification de la pression initiale de la vapeur, alors que le système compound ne donne que 9 % d'économie. Donc une distribution perfectionnée fournit, par elle-même, de meilleurs résultats que le système compound. Seulement elle ne permet pas d'élever autant la pression initiale de la vapeur et, finalement, c'est le système compound qui est de beaucoup le plus avantageux.

Avec ce dernier il est permis de concevoir qu'il y aurait encore un autre avantage, très important, à réaliser : la constance du rendement d'une machine pour un travail variable. Ce serait possible. Il suffirait à cet effet, comme l'a indiqué M. Barnes dans son traité des locomotives compound (1), d'étudier une locomotive compound, de telle sorte qu'à chaque instant la puissance soit réglée par le levier de changement de marche, le régulateur grand ouvert.

Il n'en est pas ainsi dans les locomotives compound jusqu'ici construites, parce que le cran de marche qu'on est obligé d'adopter pour le cylindre à basse pression ne peut varier que très peu quand on veut maintenir un fonctionnement économique. En effet la pression au réservoir étant peu élevée, de 3 à

(1) *Revue Générale*, N° de Décembre 1893.

5 kilogs en moyenne, 6 kilogs au plus, il suffit d'une compression de courte durée dans le grand cylindre pour amener la vapeur à la pression du réservoir. Cela impose un cran de marche correspondant à une longue admission et, par suite, à une forte dépense de vapeur au cylindre à basse pression, entraînant une diminution de la pression au réservoir intermédiaire. Il en résulte que, lorsqu'on veut produire un travail de plus en plus faible avec une machine compound, le rôle joué par le cylindre à basse pression diminue de plus en plus d'importance; ce cylindre tend en quelque sorte à n'être qu'un réservoir d'échappement au même titre que les tuyaux d'échappement qui débouchent dans la cheminée. Il n'y a véritablement fonctionnement compound, tout au moins d'une manière avantageuse, que lorsque la pression au réservoir ne descend pas au-dessous d'une certaine valeur, c'est-à-dire lorsqu'on peut restreindre suffisamment l'admission au cylindre à basse pression pour diminuer la quantité de vapeur qu'il dépense.

Quoi qu'il en soit, même en faisant abstraction de cette question de la constance du rendement qui ne tardera probablement pas à être résolue pratiquement, les machines compound sont économiques, l'expérience le démontre.

Elles constituent la meilleure solution connue du problème suivant, capital au point de vue de la traction des trains de vitesse : Augmenter la puissance des locomotives, sans augmenter leur poids.
