

Direction de la Traction et du Matériel.

5^e Bureau

NOTIONS

d'arithmétique et de géométrie et
éléments de mécanique générale,
en seize leçons, à l'usage des
machinistes et chauffeurs et des
candidats à ces emplois.

SOMMAIRE :

Arithmétique: Leçons N^{os} 1 à 7

Notions de Géométrie: Leçon N^o 8

Eléments de Mécanique générale: Leçons N^{os} 9 à 16.

GAND

S. HUSSEIN & C^{ie}

Boulevard du Béguinage, 46

— 1924 —

1^{re} LEÇON D'ARITHMÉTIQUE.

I. NUMÉRATION.

NOMBRES ENTIERS. Un nombre peut comprendre **4 classes**: les unités simples, les mille, les millions, les milliards (ou billions).
 Chaque classe comprend **3 ordres**:

les unités, les dizaines, les centaines.

REGLÉ. Dans un nombre, tout chiffre placé à gauche d'un autre représente des unités dix fois plus fortes que cet autre. Ainsi:

un mille vaut 10 centaines
 une centaine vaut 10 dizaines
 une dizaine vaut 10 unités.

EXEMPLE: soit le nombre 527 432 657 385
billiards millions mille unités

Il comprend : 5 unités
 8 dizaines
 3 centaines
 7 unités de mille
 5 dizaines de mille
 6 centaines de mille, etc...

Il s'énonce : 527 milliards, 432 millions, 657 mille, 385.

NOMBRES DECIMAUX (plus petits que l'unité).

Dans un nombre décimal nous rencontrons successivement, à partir de la virgule: les dixièmes, les centièmes, les millièmes, les dix-millièmes, les cent millièmes, etc...

REGLÉ: 1 unité vaut 10 dixièmes
 1 dixième vaut 10 centièmes
 1 centième vaut 10 millièmes, etc...

EXEMPLE: le nombre 45,725 s'énoncera :
 45 unités, 725 millièmes
 et comprend au point de vue décimal :
 7 dixièmes
 2 centièmes
 5 millièmes.

EXERCICE: Énoncer et écrire les nombres :

	5.000.129	} Nombres entiers
	12.000.000	
	4.000.000	
	0,125	
	0,000.1	} Nombres décimaux
	0,000.01	

2. LES 4 OPERATIONS FONDAMENTALES.

ADDITION.

L'addition est une opération qui a pour but de trouver un nombre égal à l'ensemble de deux ou plusieurs autres nombres. Le résultat de cette opération s'appelle **somme** ou **total**. Pour indiquer que des nombres sont à additionner on les réunit par le signe +. Le signe = signifie « égal à ».

Ainsi l'on écrira : $5748 + 425 + 79543 = 85716$.

Ce qui signifie que le nombre 85716 est la « somme » ou « le total » des nombres séparés par le signe +.

Pour effectuer une addition **il faut avoir soin de bien écrire les nombres à additionner les uns au-dessous des autres, en plaçant les unités sous les unités, les dizaines sous les dizaines, les centaines sous les centaines, etc...**

EXEMPLE: pour effectuer l'addition $5.748 + 425 + 79.543$

on écrira :

$$\begin{array}{r}
 5.748 \\
 425 \\
 79.543 \\
 \hline
 85.716
 \end{array}$$

De même pour additionner des nombres décimaux il faut avoir soin de bien placer les virgules les unes en-dessous des autres.

EXEMPLE: Pour effectuer l'addition $3,745 + 79,7 + 0,0045$.

$$\begin{array}{r}
 3,745 \\
 79,700 \\
 0,0045 \\
 \hline
 83,4495
 \end{array}$$

PREUVE: On appelle preuve d'une opération une seconde opération destinée à vérifier le résultat de la première.

Pour faire la preuve d'une addition, on la recommence de haut en bas, ou inversement selon le sens adopté lors de l'addition primitive.

EXERCICES.

1. Une remise reçoit comme charbon $\frac{1}{2}$ gras pendant une semaine successivement: 223 T. 755, - 537 T. 325 - 273 T. 433 - 116 T. 227 330 T. 080 - 500 T. 100. Quel poids total a-t-il reçu en Tonnes?
2. Un ouvrier touche comme salaire journalier durant une semaine successivement 5 fr. 75 - 3 fr. 05 - 4 fr. 25 - 6 fr. 80 -

2 fr. 85 - 4 fr. 35. Quelle somme (en francs) a-t-il touchée à la fin de la semaine?

3. Une compagnie de chemins de fer possède 4450 voitures à voyageurs, 8500 wagons à houille, 20900 wagons plats, 10050 wagons couverts, 2510 wagons divers. Quel est le nombre total de véhicules que la compagnie possède?
etc.....

SOUSTRACTION.

La soustraction est une opération qui a pour but de trouver le nombre qui reste quand on retranche un nombre donné d'un nombre plus grand.

Le résultat de la soustraction s'appelle **reste** ou **différence**.

Pour indiquer qu'un nombre est à soustraire d'un autre on les sépare par le signe —. Ainsi on écrira :

$$46624 - 1832 = 44792.$$

Pour effectuer une soustraction, **il faut avoir soin de bien écrire les deux nombres à soustraire, l'un en dessous de l'autre en plaçant les unités sous les unités, les dizaines sous les dizaines, les centaines sous les centaines, etc... ainsi que les virgules l'une en dessous de l'autre.**

EXEMPLE: Pour effectuer la soustraction $46624 - 1832$

on écrira :

$$\begin{array}{r}
 46624 \\
 - 1832 \\
 \hline
 44792
 \end{array}$$

Pour effectuer la soustraction $52,5462 - 3,4852$

on écrira :

$$\begin{array}{r}
 52,5462 \\
 - 3,4852 \\
 \hline
 49,0610
 \end{array}$$

PREUVE: La preuve de la soustraction s'obtient en additionnant le plus petit nombre et le reste; on doit retrouver le plus grand nombre.

EXEMPLE: Preuve des opérations ci-dessus :

$$1832 + 44792 = 46624$$

$$3,4852 + 49,0610 = 52,5462.$$

EXERCICES.

1. Une locomotive a chargé 3500 kilos de briquettes, 2600 kilos de demi-gras et 75 kilos de fraisil. Au service suivant elle brûle 2535 kilos de briquettes, 1825 kilos de demi-gras et tout le fraisil. On demande : 1°) Quel poids de combustible de chaque sorte lui reste-t-il sur le tender? 2°) Quel poids total de combustibles avait-elle chargé et quel poids total de combustible a-t-elle brûlé? 3°) Quel poids total de combustibles lui reste-t-il sur le tender? 4°) Faire la vérification du 3° par le 1°.

Disposition des calculs:

3500	2600	75
- 2535	- 1825	- 75
-----	-----	-----
965	775	0
3500	2535	
2600	1825	
75	75	
-----	-----	
6175	4435	
6175	965	
- 4435	- 775	
-----	-----	
1740	1740	

- 1°) Briquettes 3500 — 2535 = 965 kilos
- ½ gras ... 2600 — 1825 = 775 »
- fraisil 75 — 75 = 0 »
- 2°) 3500 + 2600 + 75 ... = 6175 kilos
- 2535 + 1825 + 75 ... = 4435 »
- 3°) 6175 — 4435 = 1740 kilos
- 4°) 965 + 775 + 0 = 1740 »

2°) Un parc à combustible contient 158,375 Tonnes de charbon ½ gras. On en enlève 35,450 Tonnes, puis on remet 75,535 Tonnes. Combien reste-t-il de Tonnes de charbons dans le parc?

Solution:

158,375
- 35,450

122,925
+ 75,535

198,460

158,375 — 35,450 = 122,925 T.
 122,925 + 75,535 = 198,460 T.

2° LEÇON D'ARITHMETIQUE.

MULTIPLICATION.

La multiplication est une méthode abrégée d'addition.

Ainsi, multiplier 4 par 5 revient à faire la somme :

4 + 4 + 4 + 4 + 4 = 20.

Cette façon d'opérer est peu pratique. On se rapporte à la table de multiplication qui donne les résultats des 9 premiers nombres entiers multipliés entre eux, deux à deux.

Il faut savoir réciter sans hésitation la table de multiplication.

Le résultat de la multiplication s'appelle **produit** et le signe de la multiplication est le signe \times .

Ainsi: $342 \times 278 = 94.076$

signifie que 342 multiplié par 278 est égal à 94.076.

Le nombre 342 est le **multiplicande** et le nombre 278 est le **multiplieur**.

D'une manière générale les deux nombres formant un produit sont les deux **facteurs** de ce produit. On peut toujours intervertir l'ordre des deux **facteurs** d'un produit. Ainsi le produit de 342×278 est le même que celui de 278×342 .

Un produit peut également résulter de la multiplication de plusieurs nombres entre eux.

Ainsi le produit de $342 \times 278 \times 526$ sera obtenu en multipliant d'abord 342 par 278 ce qui donne 94.076 et en multipliant ensuite ce produit par 526, ce qui donne $94.076 \times 526 = 49.483.976$. Les nombres 342, 278 et 526 sont les **différents facteurs** de ce produit.

On peut également intervertir l'ordre des différents facteurs d'un produit. Ainsi le produit de $342 \times 278 \times 526$ sera le même que celui de $342 \times 526 \times 278$, ou celui de $278 \times 342 \times 526$ ou celui de $526 \times 342 \times 278$ ou celui de $526 \times 278 \times 342$.

Pour effectuer la multiplication de deux nombres il faut avoir soin, comme dans l'addition et dans la soustraction, de bien écrire les deux nombres à multiplier l'un en dessous de l'autre de façon à placer les unités en dessous des unités, les dizaines en dessous des dizaines, etc... Dans les produits partiels il faut avoir soin de bien écrire les chiffres les uns en dessous des autres de façon à ce que le premier chiffre à droite de chaque produit partiel vienne exactement dans la colonne du chiffre correspondant du multiplicateur, comme il est indiqué à l'exemple ci-dessous :

soit à effectuer la multiplication 78325×725 . On écrira :

multiplicande	78325
multiplieur	725

	391625
	156650
	548275

Produit	56785625

NOMBRES DECIMAUX. On effectue la multiplication comme s'il n'y avait pas de virgule et, dans le produit, on sépare par une virgule, à partir de la droite, autant de chiffres décimaux qu'il y en a dans les deux facteurs ensemble.

EXEMPLE: soit à effectuer la multiplication

22,75 × 0,95
on écrira: 22,75
 0,95

$$\begin{array}{r} 11375 \\ 20475 \\ \hline 21,6125 \end{array}$$

PREUVE. En vertu du principe d'après lequel le produit reste le même quand on intervertit l'ordre des facteurs, on peut vérifier le produit en refaisant la multiplication avec le multiplicateur pris comme multiplicande. Le résultat doit être le même.

REMARQUE.

1°) Pour multiplier un nombre entier par 10, 100, 1000, etc... il suffit d'ajouter 1, 2, 3, etc... zéros à droite de ce nombre.

EXEMPLE: 23 × 10 = 230
 23 × 100 = 2300
 23 × 1000 = 23000

2°) Pour multiplier un nombre décimal par 10, 100, 1000, etc... il suffit d'avancer la virgule de 1, 2, 3, etc... rangs vers la droite.

EXEMPLE: 2,548 × 10 = 25,48
 2,548 × 100 = 254,8
 2,548 × 1000 = 2548

EXERCICES.

1. Faire réciter la table de multiplication et exiger qu'elle soit connue parfaitement.
2. Faire effectuer des multiplications de nombres entiers et décimaux ainsi que leur preuve.
3. Multiplier par 10, 100, 1000, etc. quelques nombres entiers et décimaux.

APPLICATIONS PRATIQUES.

1. Une locomotive a parcouru en un mois 5430 kilomètres. Elle a brûlé par kilomètre 12 kilos de briquettes et 15 kilos de charbon menu demi-gras. Sachant qu'un kilo de briquettes vaut 1,5 kg. de charbon type et qu'un kilo demi-gras vaut 0,7 kg. de charbon type, on demande quelle aura été, au bout du mois, la consommation totale de cette locomotive en charbon-type :

Disposition des calculs:

$$\begin{array}{r} 5430 \\ \times 12 \\ \hline 10860 \\ 5430 \\ \hline 65160 \\ \times 1,5 \\ \hline 325800 \\ 65160 \\ \hline 97740,0 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 5430 \\ \times 15 \\ \hline 27150 \\ 5430 \\ \hline 81450 \\ \times 0,7 \\ \hline 57015,0 \\ \hline 97.740 \\ + 57.015 \\ \hline 154.755 \end{array}$$

Solution

5430 × 12 × 1,5 = 97.740 kg.
5430 × 15 × 0,7 = 57.015 kg.
97.740 + 57.015 = 154.755 kg.
soit 154 Tonnes et 755 kgs.

2. Une briquette double pèse 10,5 kgs. environ et un panier contient environ 42 kilos de charbon demi-gras. Supposons qu'un machiniste charge 250 briquettes doubles et 30 paniers de demi-gras. En outre, il mélange à son demi-gras 3 paniers de fraïsil provenant de la boîte à fumée. Un panier contient environ 18,5 kilos de fraïsil. On demande :

- 1°) Quel sera le poids total de combustible chargé sur le tender?
- 2°) Quelle sera la valeur correspondante de ce chargement en poids de charbon-type sachant que le kilo de briquettes vaut 1,5 kg. de charbon-type, que le kilo de menu demi-gras vaut 0,7 kilo de charbon type et que le fraïsil compte pour zéro?

on écrira :

$$\begin{array}{r}
 1066,03 \quad | \quad 785 \\
 \underline{785} \qquad \quad 1,358 \\
 2810 \\
 \underline{2355} \\
 4553 \\
 \underline{3925} \\
 6280 \\
 \underline{6280} \\
 0
 \end{array}$$

2°) soit à diviser 176,4 par 0,00012

on écrira :

$$\begin{array}{r}
 17640000 \quad | \quad 12 \\
 \underline{12} \qquad \quad 1470000 \\
 56 \\
 \underline{48} \\
 84 \\
 \underline{84} \\
 0
 \end{array}$$

PREUVE. La preuve de la division se fait en multipliant le diviseur par le quotient. Le produit ainsi obtenu, ajouté au reste, s'il y en a, doit donner le dividende .

REMARQUE. 1°) Pour diviser un nombre entier par 10, 100, 1000 etc., il suffit de placer une virgule en comptant à partir du dernier chiffre à droite, autant de rangs vers la gauche qu'il y a des zéros derrière le chiffre 1.

EXEMPLE: $3454 : 10 = 345,4$ $23 : 10 = 2,3$
 $3454 : 100 = 34,54$ $23 : 100 = 0,23$
 $3454 : 1000 = 3,454$ $23 : 1000 = 0,023$

APPLICATION: La tonne valant 1000 kilos, on écrira :

1345 kilos = $\frac{1345}{1000}$ ou $1345 : 1000 = 1,345$ Tonne

2°) Pour diviser un nombre décimal par 10, 100, 1000, etc., il suffit de reculer vers la gauche la virgule d'autant de rangs qu'il y a de zéros derrière le chiffre 1.

EXEMPLE: $345,4 : 10 = 34,45$ $2,3 : 10 = 0,23$
 $345,4 : 100 = 3,454$ $2,3 : 100 = 0,023$
 $345,4 : 1000 = 0,3454$ $2,3 : 1000 = 0,0023$

EXERCICES ET APPLICATIONS.

1. Sachant qu'en entend par **pression** de la vapeur l'effort exercé par celle-ci sur chaque cm² de surface, on suppose un effort total de 16.002.720 kilos. Quelle sera la « pression » (par cm²) exercée sur une tôle de foyer de 2.500.340 cm²?
2. Un tirant de ciel de foyer Belpaire supporte dans une chaudière sous pression, un effort de traction de 5508 kilos. La section est de 918 mm². Quelle sera la fatigue du métal par mm² de section?
3. Un piston de 2374 cm² de surface transmet un effort de 18.992 kilos. Quelle pression (par cm²) la vapeur exerce-t-elle sur ce piston?
4. Une entretoise en cuivre dont la section est de 750 mm² supporte dans une chaudière sous pression un effort de traction de 1875 kg. Quelle fatigue par mm² de section cette entretoise supporte-t-elle?
5. Une locomotive a brûlé au cours d'un mois 54.720 kilos de charbon demi-gras et 45.600 kilos de briquettes. Elle a effectué un parcours de 4560 kilomètres. Sachant que les coefficients de conversion en charbon-type sont de 1,5 pour les briquettes et de 0,7 pour le demi-gras, on demande :
 - 1°) Quelle a été, pour cette locomotive, la consommation kilométrique en kilos de charbon-type?
 - 2°) L'allocation kilométrique en charbon-type étant de 28 kilos et celui-ci valant 78 francs la tonne, quel a été le gain réalisé par la locomotive?
 - 3°) Quelle est la prime qui revient au personnel de cette machine, sachant que celui-ci touche les 0,15 du gain réalisé par l'Administration?

4° LEÇON D'ARITHMETIQUE

FRACTIONS, RAPPORTS, POURCENTAGES, REGLE DE TROIS

On a vu (1^{re} leçon) que des quantités plus petites que l'unité, telles que des dixièmes, centièmes, millièmes, etc. étaient représentées par

$$\frac{1}{4} = 0,25 \quad \frac{2}{4} = 0,5 \quad \frac{3}{4} = 0,75$$

$$\frac{1}{5} = 0,2 \quad \frac{2}{5} = 0,4 \quad \frac{3}{5} = 0,6 \quad \frac{4}{5} = 0,8$$

etc...

Dans ces conditions :

Prendre la	$\frac{1}{2}$	d'un nombre,							
			revient à multiplier ce nombre	par	0,5				
Prendre le	$\frac{1}{3}$	»	»	»	»	»	»	»	par 0,333
Prendre les	$\frac{2}{3}$	»	»	»	»	»	»	»	par 0,666
Prendre le	$\frac{1}{4}$	»	»	»	»	»	»	»	par 0,25
Prendre les	$\frac{3}{4}$	»	»	»	»	»	»	»	par 0,75
Prendre le	$\frac{1}{5}$	»	»	»	»	»	»	»	par 0,25

et ainsi de suite.

REMARQUE 1. Une fraction porte souvent le nom de **rapport**.

Dans ces conditions, le « **rapport** » de deux nombres ou de deux quantités de même espèce est le **quotient de ces 2 nombres ou quantités**. L'expression de « **rapport** » est couramment employée dans la pratique.

Ainsi, supposons que deux quantités soient dans le rapport de 3 à 4.

On dira que le **rapport** de ces deux quantités est égal à $\frac{3}{4}$ (trois-quarts) ou 0,75. Cela signifie que le quotient de la plus petite de ces quantités par la plus grande est égal à $\frac{3}{4}$ ou 0,75.

EXEMPLE: 1°) **Mesurons la largeur et la longueur d'une salle.**

Soit 15 mètres, sa largeur et 20 mètres sa longueur. On dira que le « **rapport** » de sa largeur à sa longueur est égal à $\frac{15}{20}$ ou 0,75.

2°) Une locomotive pèse 100 tonnes. Son poids adhérent est de 80 tonnes. On dira que le **rapport de son poids adhérent à son poids total** est égal à $\frac{80}{100}$ ou $\frac{8}{10}$ ou 0,8.

Dans le cas où le numérateur de la fraction exprimant un rapport est le chiffre 1 et le dénominateur un chiffre quelconque, cela signifie que la quantité correspondante au dénominateur est autant de fois plus grande que la quantité correspondante au numérateur.

EXEMPLE: Les locomotives ont des dimensions telles qu'en général le **rapport de leur surface de grille à leur surface de chauffe** est égal à $\frac{1}{65}$, ce qui signifie que la surface de chauffe est 65 fois plus grande que la surface de grille. Si donc la surface de grille était de 3 mètres carrés, la surface de chauffe serait égale à 65 fois 3 mètres = 195 mètres carrés.

REMARQUE II. Dans beaucoup de cas on a l'habitude, en pratique de calculer les fractions en prenant 100 comme base au lieu de l'unité. C'est ce qu'on appelle exprimer une fraction en « pour cent ».

EXEMPLE: La fraction $\frac{3}{4}$ équivalente à la fraction décimale 0,75 s'exprimera en disant : **75 pour cent, ce qui s'écrit: 75 %**.

De même $\frac{1}{3} = 0,33 = 33 \%$ etc...

Ainsi l'on dit couramment « 40 % de briquettes » ce qui signifie que sur 100 kilos de combustibles il y a 40 kilos de briquettes.

APPLICATION: Soit un chargement de 3000 kilos de combustible. Si l'on accorde 40 % de briquettes on prendra les 40 % de 3000, soit $\frac{40}{100} \times 3000 = 1200$ kilos de briquettes.

AUTRES APPLICATIONS: Dans les locomotives à surchauffe la « surface de surchauffe » représente environ les 30 % de la surface de chauffe. Cela signifie que pour 100 mètres carrés de « surface de chauffe » il y a 30 mètres carrés de « surface de surchauffe ». Supposons une surface de chauffe de 200 mètres carrés. Sa surface de surchauffe aura, dans ces conditions: 30 % de 200, soit $\frac{30}{100} \times 200 = 60$ m².

REGLE DE TROIS.

Beaucoup de problèmes élémentaires d'arithmétique peuvent se résoudre par un raisonnement appelé « Règle de trois » ou « méthode de réduction à l'unité ».

EXEMPLE I: Un train parcourt 15 kilomètres en 20 minutes. Quelle a été sa vitesse en kilomètres par heure, c'est-à-dire quel trajet en kilomètres aurait-il fait en 60 minutes?

Raisonnement:

En 20 minutes le train parcourt 15 kilomètres

$$\begin{aligned} \text{» 1 minute} & \quad \text{»} & \quad \text{»} & \quad 20 \text{ fois moins} = \frac{15}{20} \\ \text{» 60 minutes} & \quad \text{»} & \quad \text{»} & \quad 60 \text{ fois plus} = \frac{15 \times 60}{20} = 45 \text{ km.} \end{aligned}$$

EXEMPLE II: Un train met 30 minutes à parcourir 25 kilomètres. Combien de temps ce train aurait-il mis à parcourir 75 kilomètres?

Raisonnement.

Pour parcourir 25 kilomètres il faut 30 minutes

$$\begin{aligned} \text{»} & \quad \text{»} & \quad 1 \text{ kilomètre} & \quad \text{»} & \quad \text{»} & \quad 25 \text{ fois moins} = \frac{30}{25} \\ \text{»} & \quad \text{»} & \quad 75 \text{ kilomètres} & \quad \text{»} & \quad \text{»} & \quad 75 \text{ fois plus} = \frac{30 \times 75}{25} \\ & & & & & = 90 \text{ minutes.} \end{aligned}$$

RECOMMANDATION: Il faut toujours **commencer** par écrire **à droite** le nombre qui correspond à la nature de l'unité qui fait l'objet de la question posée.

EXERCICES ET APPLICATIONS PRATIQUES.

1. Faire écrire sous la dictée plusieurs fractions.
2. Faire énoncer plusieurs fractions écrites au tableau.
3. Ecrire sous forme de fractions décimales les fractions ordinaires $\frac{1}{6}$ $\frac{1}{7}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{9}$ $\frac{2}{7}$ $\frac{3}{7}$ $\frac{1}{20}$ $\frac{1}{25}$ $\frac{1}{50}$ etc...
4. Ecrire sous forme de fractions ordinaires les fractions décimales 0,115 - 0,2288 - 0,005, etc...
5. La surface de chauffe d'une locomotive est de 210 m² 97; la surface de grille offre 4 m² 27. Quel est le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille? Quel est en %, le rapport de la surface de grille à la surface de chauffe?

6. La pression dans une chaudière de locomotive est de 14 kilos par centimètre carré. La pression d'utilisation dans les cylindres est de 8 kilos. Quel est le rapport de la pression d'utilisation à la pression dans la chaudière et à quel pourcentage ce rapport correspond-t-il?
7. Un machiniste a brûlé 2000 kilos de briquettes et 3000 kilos de menu. Quel est en %, le rapport de sa consommation en briquettes relativement à sa consommation totale de combustible?
8. Un machiniste a parcouru 12 kilomètres en 10 minutes. A quelle vitesse a-t-il roulé?
9. Un machiniste a mis 20 minutes à parcourir 22 kilomètres. Quel temps aurait-t-il mis à parcourir 66 kilomètres?
10. Un machiniste a brûlé 2000 kilos de combustible en parcourant 100 kilomètres. Combien aurait-il brûlé: a) s'il n'avait parcouru que 80 kilomètres; b) s'il avait été obligé de parcourir 120 kilomètres?
11. Deux machinistes parcourant 126 kilomètres brûlent chacun 25 kg. de combustible par kilomètre, l'un utilise 60 % de briquettes, tandis que l'autre n'utilise que 40 % de briquettes. Sachant que le kilo de briquettes vaut 1,5 kilo en charbon-type et le kilo de menu 0,7 kilo en charbon-type, on demande de combien la prime du machiniste n'utilisant que 40 % de briquettes sera supérieure à celle du machiniste utilisant 60 %, étant donné qu'on paie au machiniste 7,60 fr. par Tonne économisée en charbon-type?

5° LEÇON D'ARITHMETIQUE.

1. MESURES DE LONGUEUR.

L'unité de longueur est le **mètre (m)**

Les multiples décimaux du mètre les plus usités sont :

- le décamètre (Dm) qui vaut 10 mètres
- l'hectomètre (Hm) qui vaut 100 mètres
- le kilomètre (Km) qui vaut 1000 mètres.

Les sous-multiples décimaux du mètre sont :

- le décimètre (dm) qui vaut un dixième de mètre, soit 0m. 1
- le centimètre (cm) qui vaut un centième de mètre, soit 0m. 01.
- le millimètre (mm) qui vaut un millième de mètre, soit 0m. 001

REGLE. Les unités de longueur sont de 10 en 10 fois plus grandes

Ainsi :

1 Dm = 10 mètres	1 mètre = 10 dm.
1 Hm = 10 Dm	1 dm = 10 cm
1 Km. = 10 Hm	1 cm = 10 mm

EXEMPLE: 58 m. 464 = 584,64 dm = 5,8464 Dm
 = 5846,4 cm = 0,58464 Hm
 = 58464 mm = 0,058464 Km.

58 km. 464 = 584,64 Hm
 = 5,846,4 Dm
 = 58,464 m.
 = 584.640 dm
 = 5.846.400 cm
 = 58.464.000 mm.

2. MESURES DE SURFACE.

L'unité principale de surface est le **mètre carré** (m²) qui est un carré dont le côté mesure 1 mètre.

On emploie aussi pour mesurer les surfaces les **multiples** et **sous-multiples** décimaux du mètre carré.

Les multiples **décimaux** du mètre les plus usités sont :

- le décamètre carré (Dm²) est un carré de 10 m. de côté, il vaut donc 10 m. × 10 m. = 100 m².
- l'hectomètre carré (Hm²) est un carré de 100 m. de côté, il vaut donc 100 m. × 100 m. = 10.000 m².
- le kilomètre carré (Km²) est un carré de 1000 m. de côté, il vaut donc 1000 m. × 1000 m. = 1.000.000 m².

Les **sous-multiples décimaux** du mètre carré sont :

- le décimètre carré (dm²) est un carré de 1 dm de côté = 0,01 m²
- le centimètre carré (cm²) est un carré de 1 cm de côté = 0,000.1 m²
- le millimètre carré (mm²) est un carré de 1 mm de côté.
= 0,000.001 m²

REGLE. Les unités de surface sont de 100 en 100 fois plus grandes.
ainsi :

un centimètre carré = 100 millimètres carrés.
un décimètre carré = 100 centimètres carrés = (100 × 100) mm ²
un mètre carré = 100 décimètres carrés = (100 × 100) cm ²
= (100 × 100) × 100 mm ²

Mesures agraires

un centiare = un mètre carré
un are = un décamètre carré = 10 m. × 10 m. = 100 mètres carrés = 100 centiares
un hectare = un hectomètre carré = 100 m. × 100 m. = 10.000 mètres carrés = 100 ares.
un kilomètre carré = 1000 m. × 1000 m. = 1.000.000 m ² = 1.000.000 centiares = 10.000 ares = 100 hectares

EXEMPLE: 58,464 mètres carrés = 5,846,4 dm²
 = 584.640 cm²
 = 58.464.000 mm²

58,464 millimètres carrés = 0,58464 cm²
 = 0,0058464 dm²
 = 0,000.058 m²

3. MESURES DE VOLUME

L'unité principale de volume est le **mètre cube** (m³) qui est un cube dont le côté est égal à un mètre.

On emploie aussi pour mesurer les volumes les **sous-multiples** du mètre cube qui sont :

- le décimètre cube (dm³) est un cube qui a 1 dm. de côté; il vaut 0,001 m³
- le centimètre cube (cm³) est un cube qui a 1 cm de côté; il vaut 0,000.001 m³
- le millimètre cube (mm³) est un cube qui a 1 mm de côté; il vaut 0,000.000.001 m³.

REGLE. Les unités de volume sont de 1000 en 1000 fois plus grandes.

Ainsi :

un centimètre cube = 1000 millimètres cubes
un décimètre cube = 1000 centimètres cubes = (1000 × 1000) mm ³

un mètre cube = 1000 décimètres cubes = $(1000 \times 1000 \times 1000) \text{ mm}^3$
 = $(1000 \times 1000) \text{ cm}^3$

EXEMPLE. $5233 \text{ cm}^3 = 5.233.000 \text{ mm}^3$
 = $5,233 \text{ dm}^3$
 = $0,005.233 \text{ m}^3$

Pour mesurer le volume du bois on emploie comme unité **le stère** qui vaut aussi **un mètre cube**.

REMARQUE. On emploie souvent pour les **mesures de capacité** (contenance d'un récipient tel que tender, etc.) une unité de volume spéciale dite **le litre (L)** ainsi que les **multiples** et **sous-multiples** décimaux de celui-ci.

Le litre vaut 1 dm^3 .

Un litre représente par conséquent la millième partie d'un mètre cube.

Le mètre cube vaut donc 1000 litres.

Les multiples du litre sont :

- le décilitre qui vaut 10 = litres = 10 dm^3
- l'hectolitre qui vaut 100 = litres = 100 dm^3
- le mètre cube qui vaut 1000 = litres = 1000 dm^3

Les sous-multiples du litre sont :

- le décilitre qui vaut 1 dixième de litre = 0,1 litre.
- le centilitre qui vaut 1 centième de litre = 0,01 litre.
- le millilitre qui vaut 1 millième de litre = 0,001 litre.

EXEMPLE. $5233 \text{ cm}^3 = 5,233 \text{ dm}^3 = 5,233 \text{ litres}$.
 = 52,33 décilitres
 = 523,3 centilitres.
 = 5233 millilitres.
 $52,33 \text{ m}^3 = 52330 \text{ litres}$
 = 5233 décalitres
 = 523,3 hectolitres.

4. MESURES DE POIDS.

L'unité de poids est le **gramme (g)** qui est approximativement **le poids d'un centimètre cube d'eau distillée**.

Les multiples décimaux du gramme sont :

- le décagramme (Dg) qui vaut 10 grammes.
- l'hectogramme (Hg) qui vaut 100 grammes.
- le kilogramme (Kg) qui vaut 1000 grammes = poids d'un litre d'eau
 = poids d'un décimètre cube d'eau

— **la tonne (T)** qui vaut **1000 kilogrammes** = poids d'un mètre cube d'eau

Les sous-multiples décimaux du gramme sont :

- le décigramme (dg) qui vaut 0,1 g.
- le centigramme (cg) qui vaut 0,01 g.
- le milligramme (mg) qui vaut 0,001 g.

EXEMPLE :

$52,330 \text{ Tonnes} = 52330 \text{ Kg}$. $52330 \text{ grammes} = 52,330 \text{ Kg}$.
 5233 kg . = $5,233 \text{ Tonnes}$ $52,330 \text{ Kgr}$. = 52330 gr .

6° LEÇON D'ARITHMETIQUE.

Applications du système métrique — calcul de quelques longueurs, superficies et volumes.

1. On appelle **périmètre** la longueur de la ligne formant le contour d'une surface.

Le périmètre d'un **carré** est égal à **4 fois la longueur d'un des côtés du carré**. Ex.: le périmètre d'un carré de 3 cm. de côté = $4 \times 3 = 12 \text{ cm}$.

Le périmètre d'un **rectangle** est égal à **deux fois la longueur du grand côté plus deux fois la longueur du petit côté**.

Ex.: le périmètre d'un rectangle de 4 cm \times 3 cm. est égal à 2 fois 4 + 2 fois 3 cm. = $8 + 6 = 14 \text{ cm}$.

Le périmètre d'une **circonférence** est égal **au produit du diamètre multiplié par le nombre 3,1416**, ou, ce qui revient au même, au double du **produit du rayon multiplié par le nombre 3,1416**, attendu que le diamètre est égal au double du rayon.

Ex.: Le périmètre d'une circonférence de 20 cm. de diamètre = $20 \times 3,1416 = 62,832 \text{ cm}$.

Le périmètre d'une circonférence de 10 cm. de rayon = $2 \times 10 \times 3,1416 = 62,832 \text{ cm}$.

2. On appelle **superficie** la valeur de la partie de surface limitée par la ligne qui en forme le contour.

La superficie d'un carré est égale **au produit de la longueur d'un des côtés du carré multipliée par elle-même**.

Ex.: La superficie d'un carré de 3 cm. de côté = $3 \times 3 = 9 \text{ cm}^2$.

La superficie d'un rectangle est égale **au produit de la longueur du grand côté multiplié par la longueur du petit côté**.

Ex.: La superficie d'un rectangle de 4 cm. × 3 cm. est égale au produit de 4 × 3 = 12 cm².

La superficie d'un **cercle** est égale **au quart du produit du diamètre multiplié par lui-même et par le nombre 3,1416**, ou, ce qui revient au même, **au produit du rayon multiplié par lui-même et par le nombre 3,1416**.

Ex.: la superficie d'un cercle de 30 cm de diamètre =

$$\frac{30 \times 30 \times 3,1416}{4} = 706,86 \text{ cm}^2 \text{ soit } 706 \text{ cm}^2 \text{ et } 86 \text{ mm}^2.$$

La superficie d'un cercle de 15 cm. de rayon =

$$= 15 \times 15 \times 3,1416$$

$$= 706,86 \text{ cm}^2 \text{ soit } 706 \text{ cm}^2 \text{ et } 86 \text{ mm}^2$$

La superficie d'une surface cylindrique est égale **au produit du périmètre de la circonférence du cylindre multiplié par la longueur du cylindre**.

Ex.: Soit un cylindre dont le périmètre de la circonférence mesure 157 cm. Supposons que la longueur de ce cylindre soit de 60 cm. La superficie de la surface cylindrique sera égale à 157 × 60 = 9420 cm².

En supposant qu'on ne puisse mesurer directement le périmètre de la circonférence, il faut mesurer le diamètre de la circonférence du cylindre et calculer alors le périmètre comme il est indiqué plus haut.

Soit un cylindre dont le diamètre est de 55 cm. et dont la longueur est de 66 cm. Le périmètre de la circonférence sera donc égal à 3,1416 × 55 = 172,788 cm. et, par suite, la superficie de la surface cylindrique sera égale à 172,788 × 66 = 11404,008 cm².

3. On appelle **volume** ou **contenance** la portion de l'espace limitée par plusieurs surfaces formant un corps ou un récipient.

Le volume d'un **cube** est égal **au produit de 3 facteurs dont chacun représente la longueur du côté du cube**.

Ex.: Le volume d'un cube de 4 cm. de côté est égal au produit 4 × 4 × 4 = 64 cm³.

Le volume d'un bloc ou d'une boîte rectangulaire est égal **au produit des 3 dimensions**; c'est-à-dire **au produit de la longueur multiplié par la largeur et par la hauteur (ou l'épaisseur)**.

Ex. Soit une soude à eau (ou une bâche) de 2,750 m. de longueur, de 0,835 de largeur et de 1,250 m. de hauteur.

Le volume sera = à 2,750 × 0,835 × 1,25 = 2,8703125 mètres cubes ou 2870,312 litres, ce qui s'énonce: 2870 litres et 312 millilitres.

Le volume d'un cylindre est égal **au produit de la superficie du cercle de base (ou section du cylindre) multiplié par la longueur du cylindre**.

Ex.: Soit un cylindre dont le diamètre de la circonférence mesure 50 cm. et dont la longueur entre les deux fonds mesure 60 cm.

La superficie du cercle de base (ou ce qui revient au même, la superficie de la «section») sera égale à:

$$\frac{50 \times 50 \times 3,1416}{4} = 1963,5 \text{ cm}^2.$$

et dès lors le volume de ce cylindre sera égal à:

$$1963,5 \times 60 = 117810 \text{ cm}^3$$

$$= 117.810 \text{ dm}^3 \text{ ou } 117,810 \text{ litres}$$

$$= 0,117810 \text{ m}^3$$

Si au lieu de mesurer le diamètre de la section on en avait mesuré le rayon, soit 25 cm. on aurait trouvé de même:

$$\text{Superficie de la section du cylindre} = 25 \times 25 \times 3,1416 = 1963,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{volume du cylindre} \dots \dots \dots = 1963,5 \times 60 = 117810 \text{ cm}^3$$

REMARQUE: Supposons que pour un motif quelconque il soit impossible de mesurer le diamètre ou le rayon de la section, mais qu'il soit possible de mesurer le périmètre de la circonférence. Dans ce cas, le volume peut encore se calculer comme suit: il suffit de **multiplier le périmètre de la circonférence par lui-même et par la longueur du cylindre et de diviser le produit obtenu par le produit de 4 fois le nombre 3,1416**.

Ex.: Soit un cylindre dont le périmètre de la circonférence (ou périmètre de la section) mesure 157,08 cm et dont la longueur entre les 2 fonds mesure 60 cm.

$$\begin{aligned} \text{Le volume sera} &= \frac{157,08 \times 157,08 \times 60}{4 \times 3,1416} \\ &= \frac{1480447,584}{12,5664} \\ &= 117,810 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

A noter qu'on aurait pu déduire la valeur du diamètre d'après la

valeur du périmètre en divisant le périmètre par le nombre 3,1416. ce qui, dans l'exemple qui nous occupe, aurait donné :

$$\begin{aligned} \text{diamètre} & \dots = \frac{\text{périmètre}}{3,1416} \\ & = \frac{157,08}{3,1416} \\ & = 50 \text{ cm.} \end{aligned}$$

et alors le volume du cylindre se calculera comme précédemment.

7^e LEÇON D'ARITHMETIQUE.

Exercices d'applications pratiques portant sur le **système métrique** et le **calcul des périmètres, superficies et volumes.**

1. — Quel est le périmètre d'un carré de 12,352 mètres de côté?
2. — Quel est en mètres, en décimètres, en centimètres et en millimètres, le périmètre d'un carré de 125 m/m de côté?
3. — Quel est le périmètre d'une grille carrée de 1,16 mètre de côté?
4. — La grille d'une hl type 4 mesure 2,625 m. de longueur et 1,055 m. de largeur. Quel en est le périmètre et quelle en est la superficie?
5. — La grille d'une locomotive type 25. Belpaire mesure 2,654 m. de longueur et 1 m. 900 de largeur. La surface de chauffe totale mesure 119,81 m². Quel est le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille?
6. — Un foyer de forme rectangulaire présente une grille de 3,5 m. de longueur sur 1,25 m. de largeur. La hauteur du foyer est de 1,75m. Quel est 1°) le volume de ce foyer?
2°) la surface de chauffe (directe) correspondante en supposant qu'il y ait 200 tubes de 45 m/m de diamètre extérieur et un gueulard rond de 40 c/m de diamètre?
7. — Le faisceau tubulaire d'une locomotive type 4 comprend 226 tubes à fumée dont la longueur entre les tôles tubulaires est de 3,466 mètres et dont le diamètre intérieur est de 40 m/m.
Quelle est la surface de chauffe (indirecte) correspondante et quelle est la section totale de passage de gaz?
8. — Une tuyère de décharge de section circulaire offre un diamètre de 130 m/m.
Quelle est la superficie de la section offerte à l'échappement?
9. — Une tuyère offre un diamètre de 152 m/m. Comme la machine

ne fait pas suffisamment de pression on place dans la tuyère un cône dont la base est un cercle de 40 m/m de diamètre emmanché dans un couteau de 15 m/m de largeur.

On demande 1°) Quelle sera la superficie de la section libre restante?

2°) De combien en %, par rapport à la section primitive celle-ci a-t-elle été diminuée?

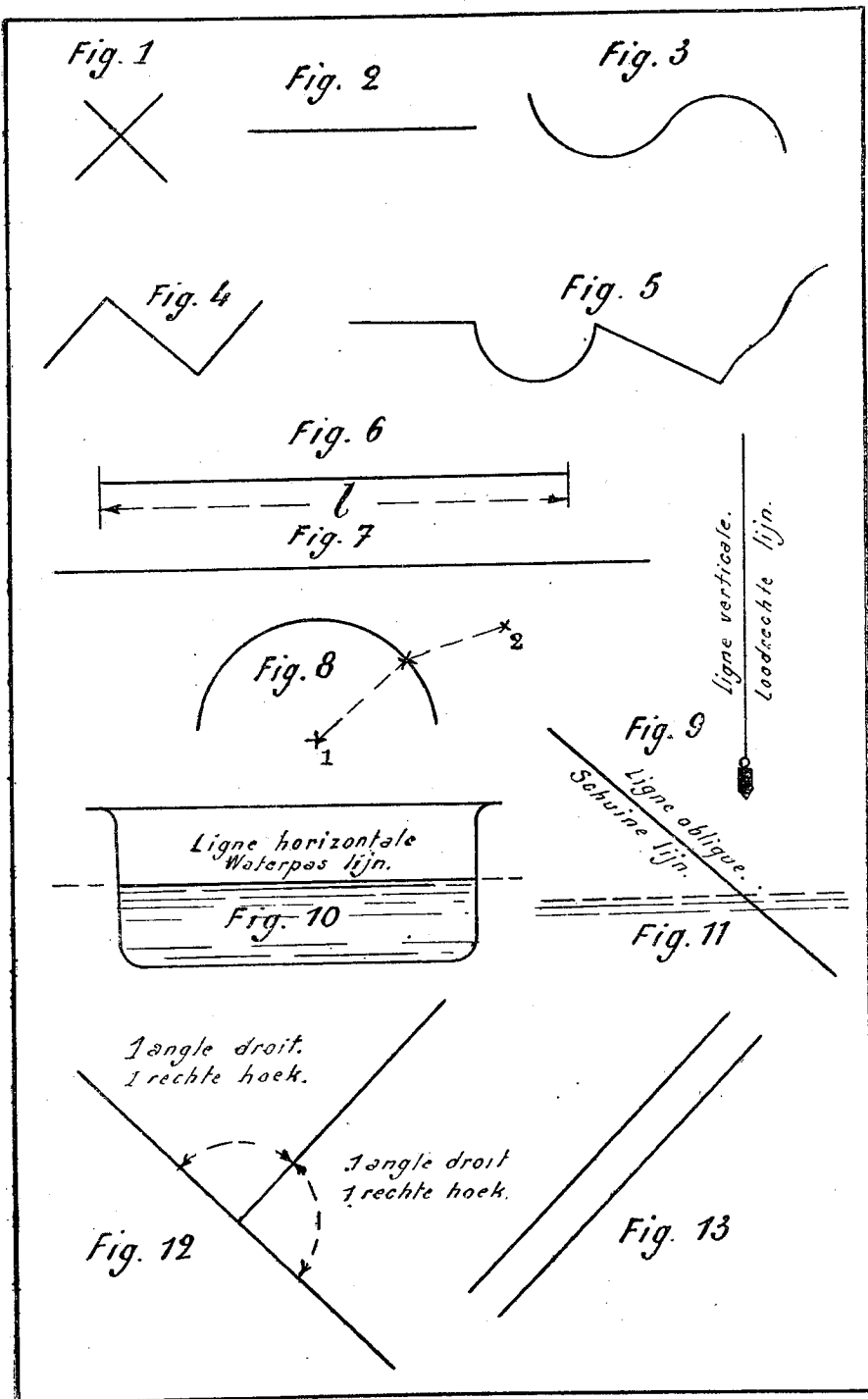
10. — Mêmes questions en supposant qu'au lieu d'un cône et barettes on eût placé un croisillon formé par deux couteaux de 18 m/m de largeur.
11. — Une cheminée de locomotive mesure 62 c/m de diamètre et la tuyère de décharge offre une section de 128 m/m de diamètre. Dans quel rapport sont les superficies des sections de ces deux organes?
12. — Un cylindre de locomotive type 4 mesure 350 m/m de diamètre; la course du piston est de 460 m/m.
On demande 1°) Quel est le volume de la cylindrée?
2°) Quelle est la surface à graisser dans les cylindres?
13. — Un cylindre de locomotive type 10 offre un alésage de 500 m/m (diamètre) la course du piston est de 660 m/m. La pression utile de la vapeur admise dans le cylindre étant de 8 Kgr. par cm² (laminage au modérateur),
On demande 1°) Quel sera l'effort transmis par ce piston?
2°) Quel sera, abstraction faite de l'espace nuisible, le volume d'admission, le levier étant à 40 p.c.?
3°) Quelle est la surface à graisser de ces cylindres?
14. — Quel est le volume d'un cylindre dont le piston offre un périmètre de 1,865 m. sachant que le rayon de manivelle est de 330m/m?

8^e LEÇON PREPARATOIRE.

QUELQUES NOTIONS DE GEOMETRIE.

Le point est défini par l'intersection de deux lignes. On représente un point par l'intersection de deux traits qui se coupent (fig. 1). Le point n'a **pas de dimension.**

La ligne est définie par l'intersection de deux surfaces. L'intersection de deux surfaces planes est une **ligne droite.**



Les lignes que l'on peut tracer dans un plan sont :
 la **ligne droite** (qui est le plus court chemin d'un point à un autre) (fig. 2).
 la **ligne courbe** (fig. 3).
 la **ligne brisée** (fig. 4).
 la **ligne mixte** (fig. 5).

Une ligne ne peut avoir qu'une **dimension**, qui est sa **longueur**, dans le cas où elle est **limitée** (fig. 6).

Une ligne est **illimitée** quand sa longueur n'est pas donnée (fig. 7)

REMARQUE. Une ligne courbe peut être **concave** ou elle peut être **convexe**, suivant la situation par rapport à laquelle on l'observe.

Ainsi, la ligne A B est concave vue de 1, et convexe vue de 2 (fig. 8)
 On dit alors que A B tourne sa **concavité** vers 1, et sa **convexité** vers 2.

Une ligne droite peut être 1° **Verticale**
 2° **horizontale**
 3° **oblique**

- 1°) **Verticale** = direction du fil à plomb (fig. 9)
- 2°) **horizontale** = direction libre du niveau libre de l'eau dans un vase (fig. 10).
- 3°) **Oblique** = ni verticale ni horizontale. (fig. 11).

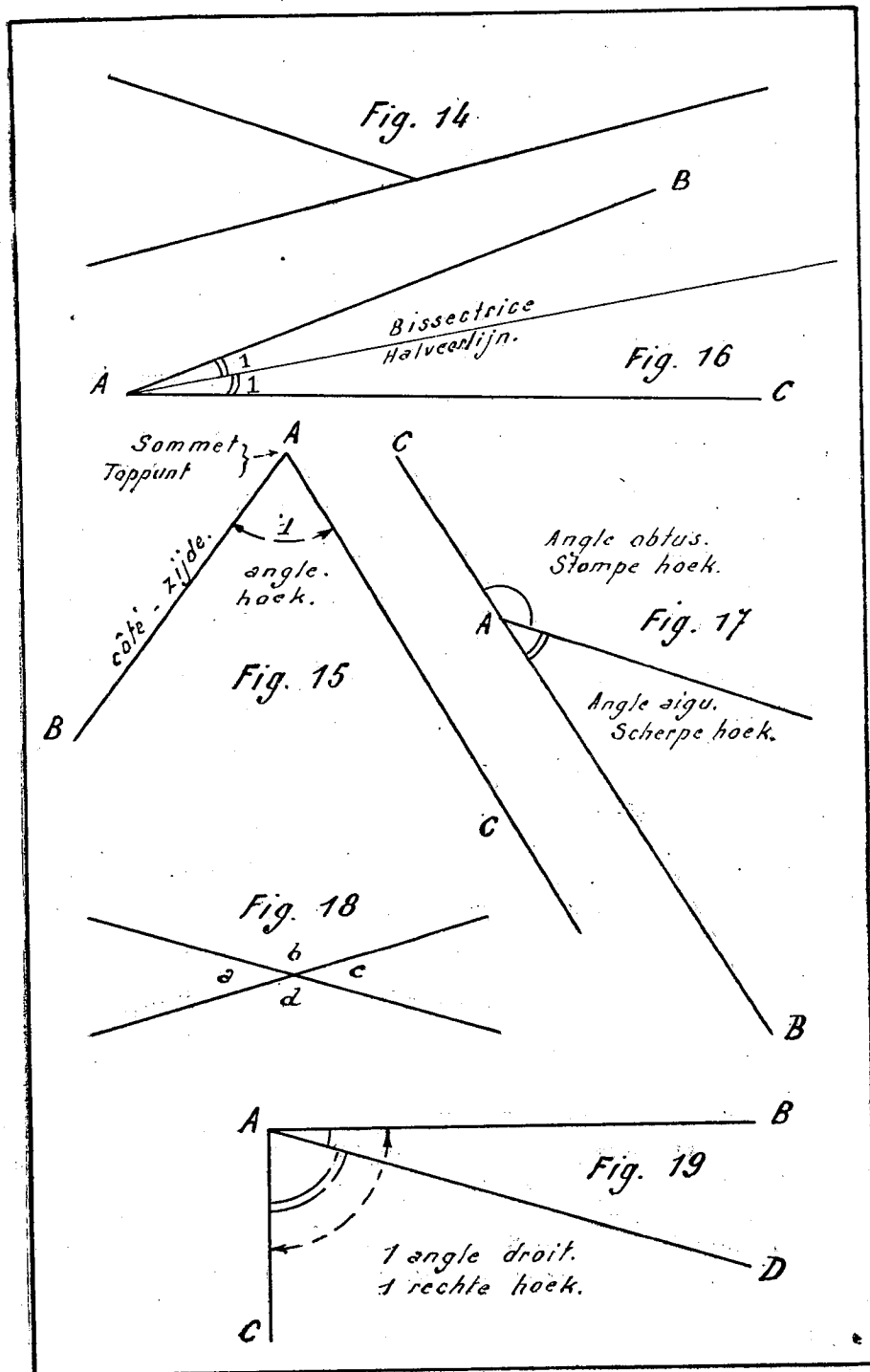
Positions relatives.

Deux lignes droites peuvent :

- 1°) être **perpendiculaires** l'une à l'autre (fig. 12).
- 2°) être **parallèles** l'une à l'autre (fig. 13).
- 3°) être **obliques** l'une par rapport à l'autre (fig. 14).
- 4°) être **convergentes**
- 5°) être **divergentes**
- 1°) On dit que deux droites sont **perpendiculaires** l'une à l'autre lorsqu'elles se coupent sous un **angle droit** (fig. 12). (Voir plus loin angles).
- 2°) Deux droites sont dites **parallèles** lorsque étant prolongées, elles ne peuvent se rencontrer. (fig. 13).
- 3°) Une droite est **oblique** par rapport (fig. 14) à une autre lorsqu'elle ne lui est ni perpendiculaire ni parallèle.

L'ANGLE est la portion du plan comprise entre deux droites indéfinies issues d'un même point.

On distingue le **sommet** et les **côtés** d'un angle (fig. 15).



On distingue un angle soit par trois lettres, soit par la lettre du sommet, soit par un chiffre. Ainsi l'on dira : **l'angle B A C** (fig. 15) ou **l'angle A** ou **l'angle 1**.

REMARQUES. La **grandeur d'un angle** ne dépend que de **l'écartement de ses côtés** qu'il faut toujours concevoir prolongés indéfiniment **Pour se faire une idée de cette grandeur** on suppose le côté A C par exemple appliqué sur le côté A B, ayant fait tourner A C autour du sommet A. La quantité dont la droite A C a tourné est précisément ce qui constitue la grandeur de l'angle B A C.

On appelle **bissectrice d'un angle** la droite qui le divise en deux parties égales (fig. 16).

On appelle **angles adjacents** deux angles extérieurs l'un à l'autre ayant même sommet et un côté commun (fig. 17). Ainsi C A D et D A B sont adjacents.

ANGLE DROIT. Lorsqu'une droite en rencontre une autre en formant avec celle-ci **deux angles adjacents égaux**, on dit alors que ces deux droites se coupent à angle droit (fig. 12). En d'autres termes : **l'angle droit est l'angle de deux droites qui se rencontrent en formant deux angles adjacents égaux.**

ANGLE AIGU = angle moindre qu'un angle droit. (fig. 17).

ANGLE OBTUS = angle plus grand qu'un angle droit. (fig. 17).

On appelle **angles opposés par le sommet** les angles opposés formés par l'intersection de deux droites. Ainsi, les angles **a** et **c** (fig. 18) sont opposés par le sommet. De même les angles **b** et **d** sont opposés par le sommet. Par contre les angles **a** et **b**, **b** et **c**, **c** et **d**, **d** et **a** sont adjacents. Dans ces conditions :

Deux droites qui se coupent forment 4 angles consécutifs lesquels considérés deux à deux sont ou adjacents ou opposés par le sommet.

ANGLES COMPLEMENTAIRES. = 2 angles dont la somme vaut un angle droit.

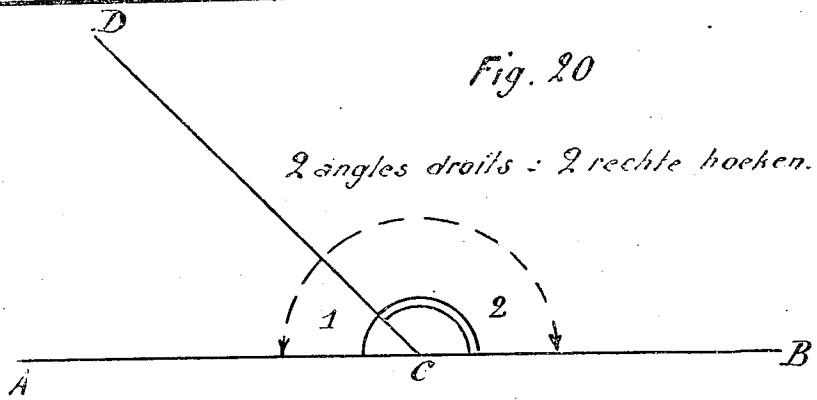
Ainsi, les angles B A D et D A C (fig. 19) sont complémentaires. On dit que l'angle C A D est le **complément** de B A D.

ANGLES SUPPLEMENTAIRES = 2 angles dont la somme vaut 2 angles droits. Ainsi les angles A C D et D C B sont supplémentaires (fig. 20).

On dit que l'angle (2) est le **supplément de l'angle (1)**.

Fig. 20

2 angles droits : 2 rechte hoeken.



CONCLUSION: lorsque deux angles adjacents sont supplémentaires, alors les côtés extérieurs sont en ligne droite. Ainsi, dans l'exemple de la fig. 20 les côtés AC et CB forment une même ligne droite.

REMARQUE. La condition $A + B = 90^\circ$ ou $A + B = 180^\circ$ suffit à elle seule pour que A et B soient ou complémentaires ou supplémentaires. Il n'est pas nécessaire que ces angles soient adjacents.

Ainsi:

Les angles A et B fig. 21 sont complémentaires parce que $A + B = 90^\circ$.

Les angles A et B fig. 22 sont supplémentaires parce que $A + B = 180^\circ$.

DEFINITIONS.

1°) Lorsque par un point d'une droite on fait passer une perpendiculaire à cette droite, on dit alors que l'on élève une perpendiculaire. Lorsque par un point pris hors d'une droite on fait passer une perpendiculaire à cette droite, on dit alors que l'on abaisse une perpendiculaire. On appelle pied de la perpendiculaire le point de rencontre de la perpendiculaire avec la droite donnée. Ainsi (fig. 23) le point P est le pied de la perpendiculaire abaissée du point donné C sur la droite donnée AB. Si le point donné est sur la droite donnée, alors ce point sera le pied de la perpendiculaire y élevée.

2°) On entend par projection d'un point sur une droite le pied de la perpendiculaire abaissée de ce point sur la droite.

3°) La projection d'une droite sur une droite est la distance comprise entre les projections des extrémités de la droite.

Ainsi: (fig. 24): Q est la projection de D sur AB

P est la projection de C sur AB

la distance P-Q est la projection de CD sur AB

Les perpendiculaires DQ et CP sont les projetantes et la droite AB (sur laquelle on projette) est l'axe de projection.

4°) On entend par distance d'un point à une droite, la longueur mesurée sur la perpendiculaire abaissée de ce point sur la droite et comprise entre le point donné et le pied de la perpendiculaire. Ainsi dans le cas de la fig. 23, la distance du point C à la droite AB est égale à CP.

5°) Deux points sont dits «symétriques» l'un à l'autre par rapport à une droite, lorsque ces deux points sont situés de part et d'autre de la droite, sur une même perpendiculaire à la droite et à égale distance de la droite.

Fig. 21

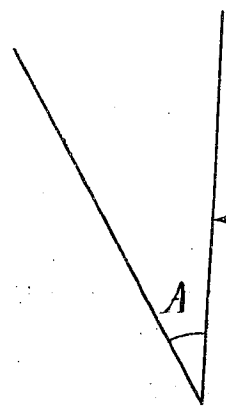


Fig. 22

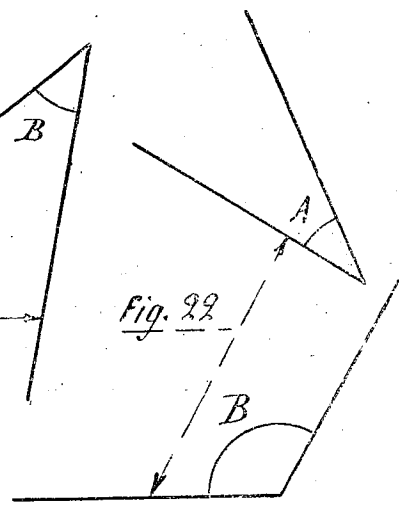


Fig. 23

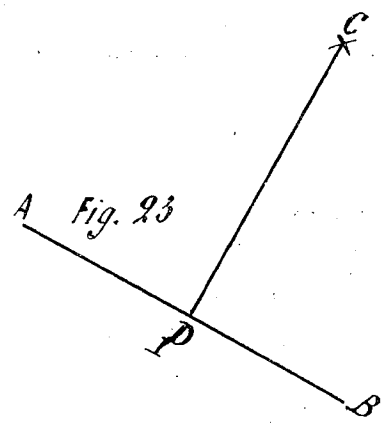
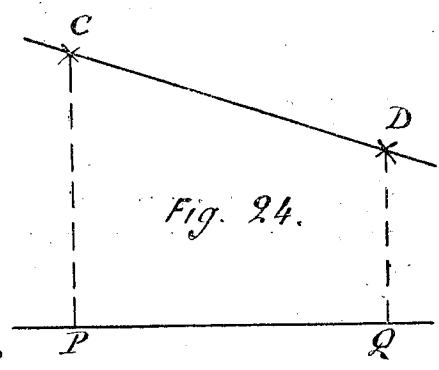


Fig. 24.



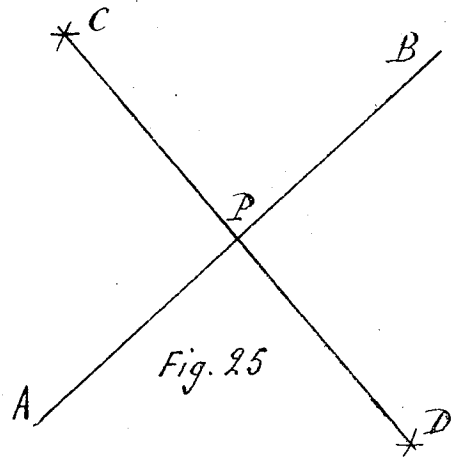


Fig. 25

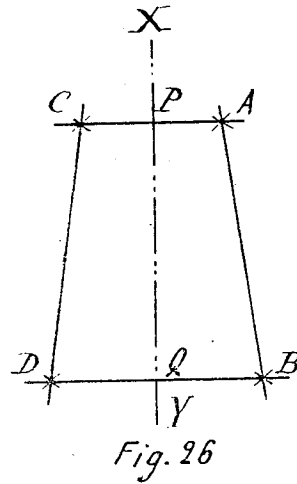


Fig. 26

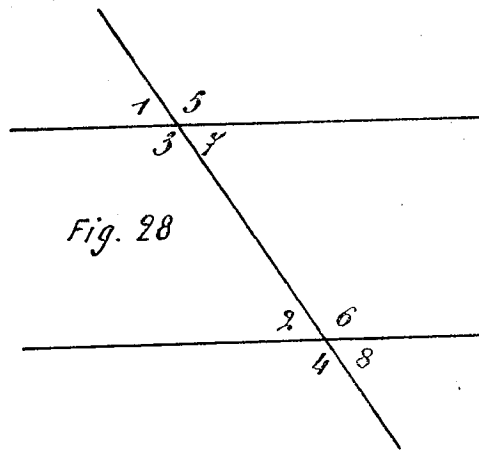


Fig. 28

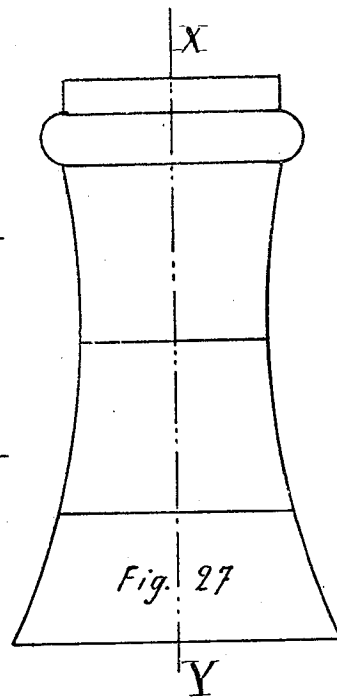


Fig. 27

Ainsi (fig. 25) les points C et D sont symétriques à condition que CD soit perpendiculaire à AB et si $CP = DP$.

6°) **Deux droites** sont **symétriques l'une à l'autre par rapport à une droite donnée**, lorsque les extrémités de l'une d'elles sont symétriques des extrémités de l'autre. Ainsi, dans la fig. 26: CD est symétrique de AB en admettant que C soit symétrique de A, et D symétrique de B. (Condition: $PA = PC$ et $QB = QD$).

On entend par **axe de symétrie** la droite (telle que XY) par rapport à laquelle deux ou plusieurs points sont symétriques. Deux lignes quelconques peuvent être symétriques l'une à l'autre par rapport à un axe donné (ex. fig. 27). Dans ce cas l'axe donné devient l'**axe de symétrie** ou **axe de figure** de la figure géométrique formée par les 2 lignes symétriques. (fig. 27).

7°) Si deux droites, parallèles ou non, sont coupées par une troisième droite, celle-ci est appelée **sécante** ou **transversale**. Elle détermine avec les deux autres droites huit angles, dont quatre sont aigus et quatre obtus. (fig. 28).

Considérés deux à deux, les angles prennent les dénominations suivantes :

a) **Correspondants** = angles situés d'un même côté de la transversale et placés de la même manière relativement aux deux droites. Tels sont 1 et 2, 3 et 4, 5 et 6, 7 et 8.

b). **Alternes-internes** = angles situés d'un côté et de l'autre de la transversale et en dedans des deux droites. Tels sont 7 et 2, 3 et 6.

c) **Alternes externes** = angles situés d'un côté et de l'autre de la transversale, mais en dehors des deux droites. Tels sont 1 et 8, 5 et 4.

d) **Intérieurs du même côté** = angles situés du même côté de la transversale et au dedans des deux droites. Tels sont 3 et 2, 7 et 6.

e). **Extérieurs d'un même côté** = angles situés d'un même côté de la transversale et en dehors des deux droites. Tels sont 1 et 4, 5 et 8.

9^e LEÇON.

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE

Introduction.

Quel que soit l'état de vos connaissances, vous vous êtes rendu compte que le fonctionnement d'une locomotive se résume comme suit :

Le combustible, introduit dans le foyer, brûle au contact de l'air aspiré à travers la grille par l'effet du tirage.

Il dégage ainsi de la chaleur qui sert à échauffer l'eau de la chaudière et à la transformer en vapeur sous pression.

Cette vapeur passe dans les cylindres, exerce une poussée sur les pistons, fait tourner les roues et déplace le train.

Le résultat pratique se traduit par une certaine consommation de charbon pour la remorque d'un train déterminé. L'expérience journalière vous a prouvé que certaines équipes travaillent plus économiquement que d'autres, toutes conditions égales. Cette supériorité provient, sans nul doute, du soin, de la bonne volonté, des qualités des agents. Sans ces qualités, aucun résultat n'est à espérer : mais le résultat sera d'autant plus brillant que ces qualités seront secondées par des connaissances suffisantes tout-à-fait indispensables pour les mettre en valeur.

Ce sont ces connaissances que nous allons mettre à votre portée en vous enseignant un petit nombre de principes fondamentaux. On peut être écolier à tout âge et on n'est jamais autre chose devant ce qu'on ignore. Quand vous aurez étudié ces principes avec votre maître, votre tâche n'aura que commencé : il faudra les mettre progressivement en pratique. Votre bon sens et votre bon vouloir feront la lumière dans les détails de votre métier.

Si nous en revenons au fonctionnement vu ci-dessus, nous pouvons le résumer encore d'avantage comme suit :

- 1°) Le charbon produit la chaleur.
- 2°) La chaleur produit la vapeur.
- 3°) La vapeur produit le travail.

Ce sont ces trois parties que nous allons traiter successivement.

1^{re} PARTIE.

PRODUCTION DE LA CHALEUR AU MOYEN DU COMBUSTIBLE

Mesure des quantités de chaleur.

Vous avez souvent dit d'un combustible : « il est trop chaud » ou « il n'est pas chaud ». C'est ainsi que vous vous exprimez pour comparer les combustibles : mais vous avez dû sentir combien cette façon d'apprécier était incomplète. C'est cette idée que nous allons reprendre pour la préciser.

Nous comparerons les charbons entre eux au moyen des quantités de chaleur qu'ils dégagent. De même que vous mesurez une longueur au moyen du mètre, une surface au moyen du mètre carré, etc., nous mesurerons la chaleur dégagée par un kilogramme de combustible en comptant combien de fois une petite quantité de chaleur bien déterminée y est comprise. Un kilogramme de briquettes donnera, par exemple 8.500 fois cette petite quantité : un combustible ordinaire ne la donnera que 7.500 fois, etc.

Pour ne pas répéter constamment « petite quantité de chaleur » nous remplacerons cette expression par un mot et pour nous exprimer comme tous les livres, nous adopterons :

Petite quantité de chaleur = calorie

Il suffira alors de bien s'entendre sur la signification de calorie. Un kilogramme de briquettes donnera 8500 calories, un charbon ordinaire, 7500 calories, etc.

REMARQUE : Il faut bien insister sur le fait que cette notion de calorie ne présente aucune difficulté : il n'y a pas à la comprendre parce qu'elle ne représente qu'une manière de parler. De même que les longueurs peuvent être mesurées en mètres, en pieds, en aunes, etc., il serait possible de prévoir pour la mesure des quantités de chaleur d'autres unités que la calorie. Mais nous nous en tiendrons à cette façon de faire parce que c'est la seule employée pour les mesures pratiques.

Calories — Définition.

Qu'est-ce que la calorie ? Ou, mieux, comment le choix de cette petite quantité de chaleur dénommée calorie a-t-il été fait ?

Les considérations suivantes que vous êtes à même d'émettre sur ce sujet, me paraissent devoir vous indiquer la réponse.

Vous connaissez l'appareil dénommé thermomètre qui donne les degrés de température : nous nous en servons sans recherches préalables parce qu'elles ne sont pas indispensables pour la compréhension. Nous savons que le zéro de la graduation correspond à la température de la glace fondante. Le niveau monte quand l'appareil est placé dans l'eau à plus haute température : ainsi le thermomètre marquera 100 degrés dans l'eau bouillante, etc.

Il y a même en dessous de zéro des indications, (-5) (-10) etc. pour les températures plus basses, mais nous ne nous en servons guère.

En nous basant sur ce qui précède nous pouvons raisonner comme suit :

Si vous savez ce qu'il y a de chaleur dans UN kilogramme d'eau à UN degré et si on vous demande ce qu'il y a de chaleur dans UN kilogramme d'eau à DEUX degrés, que répondrez-vous? Certainement qu'il y en a deux fois plus.

Et dans DEUX kilogrammes d'eau à UN degré? Egalement deux fois plus. Alors dans DEUX kilogrammes d'eau à DEUX degrés? Quatre fois plus, etc.

De là il n'y a plus aucune difficulté à admettre que la quantité de chaleur contenue dans 1 kilogramme d'eau à 1 degré peut être avantageusement choisie pour calorie: c'est, en effet, ce qui a été fait.

Pour un poids d'eau 2, 3, 4, etc. fois plus grand à même température, la quantité de calories sera 2, 3, 4, etc. fois plus élevée.

Exemple: 30 kilogrammes d'eau à 1 degré contiennent 30 calories.

De même, un kilogramme d'eau porté à 1, 2, 3, 4, etc. degrés, contient 1, 2, 3, 4, etc. fois plus de calories.

Exemple: 1 kilogramme d'eau à 35° contient 35 calories.

Enfin si le poids d'eau et la température augmentent en même temps, le nombre de calories augmentera comme le produit des deux, suivant l'application de la règle de trois.

Exemple: Combien faut-il dépenser de calories pour porter à 60° les 5 mètres cubes d'eau qu'une chaudière contient?

Solution: 5 m³ d'eau valent 5000 litres et pèsent 5000 kil.

1 kilogramme d'eau chauffé à 1° contient 1 calorie

5000 kilogrammes d'eau chauffé à 1° contiennent $1 \times 5000 = 5000$ cal.

5000 kilogrammes d'eau chauffé à 60° contiennent

$$5000 \times 60 = 30.000 \text{ cal.}$$

On peut même pousser le raisonnement plus loin de la façon suivante: Si un kilogramme de charbon vaut 7500 calories, l'alimentation de la chaudière avec de l'eau chaude à 60° correspondra à une économie de combustible d'autant de kilogrammes que 7500 est contenu de fois dans 300.000 ou $300.000 : 7.500 = 40$ kgr.

Chaleur spécifique.

De la définition de la calorie, il résulte que pour échauffer de 1 degré, 1 kilogramme d'eau, il faut une quantité de chaleur qu'on est convenu de dénommer **calorie**.

Vous avez déjà dû vous demander si les autres corps que vous rencontrez dans les chaudières tels que le fer, le cuivre, etc. demandent aussi 1 calorie.

Chaque corps demande un nombre de calories habituellement plus petit que celui réclamé par l'eau. C'est à ce nombre de calories que nous donnons le nom de chaleur spécifique.

Pour élever de 1 degré la température d'un kilogramme de fer, de fonte et d'acier, il faut lui fournir 0,13 calorie: c'est sa chaleur spécifique.

Pour le cuivre 0,096

Pour le laiton 0,093

Pour les cendres 0,20

Pour l'air et les gaz de la combustion, 0,24

} en moyenne

10° LEÇON.

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

Applications.

Ces deux notions, calorie et chaleur spécifique, permettent de résoudre un certain nombre de problèmes qu'il faut multiplier dans le but de s'assurer que les définitions sont non seulement **connues**, mais **acquises**. Nous citons l'exemple suivant qui nous a paru le terme final vers lequel il faut tendre progressivement.

Un bloc de fer de 0,6 décimètres cubes porté à 65 degrés est plongé dans une cuve contenant 20 litres d'eau à 8 degrés. Après un certain temps l'eau et le fer sont à la même température. Quelle est cette température?

SOLUTION: La densité du fer étant 7,8 kgs. le bloc de 0,6 dcm³ pèse: $0,6 \times 7,8 = 4,68$ kgs.

Cherchons le nombre de calories contenues dans le fer et l'eau avant le mélange.

1 kgr. de fer porté à 1° contient 0,13 calories.

4,68 kgs. de fer portés à 1° contiennent $0,13 \times 4,68 = 0,61$ cal.

4,68 kgs de fer portés à 65° contiennent $0,61 \times 65 = 39,65$ calories.

Les 20 litres d'eau portés à 8° contiennent $20 \times 8 \times 1 = 160$ cal.

Donc les deux corps contiennent ensemble $39,65 + 160 = 199,65$ C.

Maintenant que nous venons de retirer les calories de l'eau et du fer, que nous pouvons supposer ramenés à 0 degré, nous allons les restituer aux deux corps en même temps, c'est-à-dire de manière que leur température soit la même.

Les 20 litres d'eau demandent par degré $20 \times 1 = 20$ cal.

Les 4,68 kgr. de fer demandent par degré $4,68 \times 0,13 = 0,61$ C.

Donc pour les 20 kgs d'eau et les 4,68 kgs de fer il faut, par degré $20 + 0,61 = 20,61$ calories.

De combien de degrés pourra-t-on élever la température des deux corps? D'autant de degrés que $20,61$ sont contenues dans $199,65$, c'est-à-dire $199,65 : 20,61 = 9,7$ degrés.

Combustion.

Lorsqu'on fait passer de l'air sur du charbon allumé, ce dernier brûle et dégage des calories: c'est cela qui porte le nom de combustion. Nous allons faire connaître de ce phénomène ce qui est nécessaire pour guider votre travail et rechercher méthodiquement l'économie. En premier lieu, il faut savoir que l'air est composé de deux parties:

- a) **une première** (que nous dénommons l'oxygène) qui produit réellement la combustion du charbon. Elle est contenue dans l'air dans la proportion approximative de $1/5$ du volume ou $1/5$ du poids.
- b) **une deuxième**, dénommée azote qui ne peut aider en aucune façon le dégagement des calories: l'azote entre dans l'air pour les $4/5$ du volume ou les $4/5$ du poids.

En second lieu, nous noterons également que les charbons sont composés de 3 parties:

- a) **une matière solide** désignée couramment sous le nom de carbone.
- b) **une matière volatile** qui se dégage sous forme de fumée et qui porte le nom d'hydrocarbure.
- c) **une matière incombustible** ou cendrées.

Les chefs immédiats des remises fourniront, sous forme du tableau ci-après, pour quelques combustibles utilisés en Belgique, les renseignements dont question ci-dessus:

Type de combustible.	Pourcentage d'hydrocarbures ou de matières volatiles.	Pourcentage de cendres.	Pourcentage de carbone.

Nous nous occuperons, pour l'instant, des deux premières: toutes deux sont combustibles et par conséquent représentent des calories qu'il importe de dégager par une combustion complète. Cette dernière présente des difficultés que nous allons examiner.

La matière solide appelée carbone paraît la plus facile à travailler parce que, en raison de son état solide, elle ne paraît pas devoir nous échapper facilement. Nous allons montrer, au contraire, que la perte peut être très importante (environ 70 p.c.) et que ce danger est d'autant plus à craindre qu'il ne se traduit par des conséquences manifestes que pour l'œil exercé.

Cette difficulté provient de ce que le carbone peut brûler avec l'oxygène de deux façons différentes: nous les examinerons surtout au point de vue des résultats.

1) Quand on règle la combustion avec soin, le carbone brûle avec le maximum d'oxygène et il donne environ 8100 calories par kg. Pour que vous connaissiez le nom, on dit que le carbone brûle alors sous forme d'acide carbonique. C'est ce résultat qu'il faut obtenir.

2) Si on ne place pas ce kilogramme de carbone dans des conditions telles qu'il puisse absorber cette quantité d'oxygène, il n'en absorbe que la $1/2$: l'expérience a prouvé qu'il ne dégage alors que 2400 calories par kilogramme.

La différence ($8100 - 2400$) calories = 5700 calories, est perdue et représente ainsi que nous l'avons dit plus haut:

$$5700/8100 = 70 \text{ p.c.}$$

Pour que vous connaissiez le nom, nous dirons que le carbone brûle en **oxyde de carbone**.

Les **matières volatiles** se dégagent sous forme de fumée et sont entraînées rapidement par le tirage si nous ne les brûlons pas immédiatement. L'expérience vous a appris que, en ouvrant la porte, et en introduisant un peu d'air dans les fumées, vous évitiez assez facilement la production de fumée. Certaines portes de foyer sont même construites de façon à faciliter cette manœuvre.

C'est la solution qui vous sera conseillée dans l'enseignement pratique. Mais il ne faut pas abuser de cette introduction d'air au dessus de la grille parce que les pertes réapparaissent immédiatement sous une autre forme (comme nous allons le démontrer dans les paragraphes suivants).

11^e LEÇON

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite).

Quantité d'air.

Dans la partie pratique de cet enseignement, vous étudierez un certain nombre de principes se rattachant à des idées qui doivent se présenter forcément à votre esprit à ce moment où vous vous consacrez à cette étude théorique. Ce sont : nature des cendrées, interstices de la grille, etc. Il ne faut pas vous en préoccuper pour le moment mais vous attacher uniquement à résoudre le problème suivant :

Quelle quantité d'air faut-il faire passer sur le combustible pour réaliser une combustion économique ?

La réponse, un peu naïve à première vue, « Ni trop ni trop peu », est pourtant intéressante si on s'efforce de l'appliquer avec discernement dans l'exercice de son métier.

Si ce n'était pas trop encombrant je vous démontrerais que pour brûler 1 kg. de combustible il faut environ 12 à 13 kg. d'air. Comme le m³ d'air pèse environ 1 kg. 3, cela équivaut à environ 13 kg. : 1 kg. 3 = 10 m³ d'air.

La raison vous est déjà connue : c'est que vous trouverez dans ces 13 kg. d'air ou dans ces 10 m³ d'air la quantité d'oxygène nécessaire pour brûler le carbone et les matières volatiles comme nous l'avons dit plus haut et dégager toutes les calories qui y sont contenues.

Reprenons notre réponse pour la justifier.

Ni trop peu. — Je pense qu'il n'est pas nécessaire de traiter longuement

ce point : nous le résumerons sous cette forme qui résulte de ce qui précède.

Trop peu d'air équivaut à trop peu d'oxygène. Trop peu d'oxygène équivaut à ne pas fournir aux éléments combustibles le moyen de brûler.

Résultat : le charbon est mal brûlé et les calories ne sont pas dégagées.

Ni trop. — Le raisonnement qui conduit à introduire trop d'air pour en avoir suffisamment est à rejeter pour la raison suivante : Chaque fois que le chauffeur laisse entrer dans le foyer (soit par l'ouverture de la porte, soit par une partie découverte de la grille), 1 m³ d'air en excès, c'est-à-dire duquel le charbon ne tirera aucun parti pour brûler parce qu'il a trouvé suffisamment d'oxygène dans les autres parties, voici le résultat qu'il obtient : Ce m³ d'air (ou en poids 1 kg. 3) passe dans le foyer **uniquement** pour s'y échauffer. Il sortira de la chaudière en même temps que les autres gaz à la température de 400 degrés pour prendre un exemple rentrant dans les limites atteintes normalement par nos locomotives.

Exprimons les calories que ce m³ d'air est venu prendre dans le foyer pour les rejeter à l'extérieur c'est-à-dire en pure perte.

1 kg. d'air s'échauffant à 1° demande 0 cal., 24

1,3 id. id. id. demandent $0,24 \times 1,3 = 0,312$

1,3 id. id. à 400° » $0,312 \times 400 = 124,8$.

Ce point nous paraît tellement important que nous le présenterons encore sous une autre forme.

Supposons qu'un kg. de combustible puisse brûler complètement avec 13 kg. d'air (ou 10 m³) pour donner les 7500 calories qu'il contient. Supposons aussi qu'un chauffeur inexpérimenté le brûle avec 15 m³ c'est-à-dire laisse entrer un excès d'air de 5 m³ par kg. de combustible.

Ces 5 m³ sortiront après s'être échauffés à 400° et emporteront le nombre suivant de calories :

5 m³ à 1,3 kg. par m³ pèsent : $5 \times 1,3 = 6,5$ kg.

1 kg. d'air s'échauffant à 1° demande 0,24 calorie,

6,5 kg. d'air s'échauffant à 1° demandent $0,24 \times 6,5 = 1,56$

6,5 kg. d'air s'échauffant à 400° demandent $1,56 \times 400 = 624$ cal.

Cette perte de 624 calories comparée à 7500 calories, représente $624/7500 = 8,3 \%$

Pouvoir calorifique.

Il en a déjà été question dans ce qui précède et c'est une preuve que toutes ces notions s'imposent même quand on veut se borner à une étude sommaire du phénomène de la combustion.

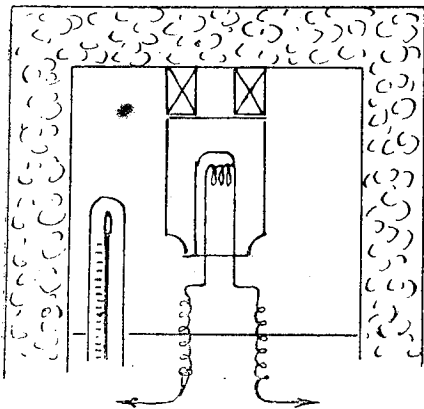
Le kilogramme de briquettes donne, avons-nous dit à titre d'exemple, 8500 calories et le kilogramme de charbon ordinaire 7500 calories. Ces nombres de calories dégagées par la combustion d'un kilogramme de combustible sont désignés dans tous les livres sous le nom de **pouvoir calorifique**.

L'intérêt qu'il présente n'échappe à personne. Si tel combustible donne 8000 calories par kilogramme et si un autre combustible ne donne que 6000 calories par kilogramme, il est bien certain que le second ne peut valoir que les $\frac{6}{8}$ du premier.

Sans doute la valeur d'un combustible peut encore être modifiée par d'autres influences telles que : nature des cendrées, sa résistance au tirage, etc. Ces questions doivent être étudiées dans la partie pratique de l'enseignement.

Puisque le pouvoir calorifique donne la valeur du combustible il faut le déterminer.

L'appareil employé est représenté schématiquement ci-contre :



Un petit récipient en acier, fermé par un couvercle vissé et joint au plomb de façon à être complètement étanche aux gaz, contient quelques grammes de combustible. Il est chargé d'oxygène sous pression de telle manière que, malgré son petit volume, il en contienne suffisamment pour brûler le combustible qui va servir à l'essai.

Dans le couvercle est aménagé le passage de fils électri-

ques. Le courant que l'on enverra au moment voulu portera au rouge la petite spirale en fer qui plonge dans le charbon (comme cela se passe dans une lampe électrique). Avec l'oxygène pur, la combustion s'effectuera très rapidement.

Avant l'allumage, le petit récipient tout préparé dont il vient d'être question, est placé dans un autre récipient rempli d'eau. Ce der-

nier est soigneusement protégé contre le refroidissement extérieur par une enveloppe calorifuge. Un thermomètre sensible marque la température de l'eau à chaque instant.

Admettons les conditions suivantes à titre d'exemple :

Quantité de charbon consommé pendant l'essai = 1 gramme.

Température de l'eau avant l'allumage = 10°.

Température de l'eau après allumage = 12,5°.

Poids d'eau contenue dans le récipient = 2,8 kgr.

Poids du récipient en acier = 2 kgr.

Que s'est-il passé? Les calories dégagées par le gramme de combustible ont servi à échauffer l'eau et le petit récipient de 10° à 12,5° soit de 2,5°.

Pour échauffer 1 kgr. d'eau de 1° il faut 1 calorie,

Pour échauffer 2,8 kgr. d'eau de 1° il faut $1 \times 2,8 = 2,8$ calories.

Pour échauffer 2,8 kgr. d'eau de 2,5° il faut $2,8 \times 2,5 = 7$ calories.

Pour échauffer 1 kgr. d'acier de 1° il faut 0,13 calories.

Pour échauffer 2 kgr. d'acier il faut $0,13 \times 2 = 0,26$ cal.

Pour échauffer 2 kgr. d'acier 2,5° il faut $0,26 \times 2,5 = 0,65$ cal.

La combustion du gramme de combustible a donc donné :

$$7 + 0,65 = 7,65 \text{ calories.}$$

La combustion de 1000 grammes de combustible pourra donner

$$7,65 \times 1000 = 7650 \text{ calories.}$$

C'est le **pouvoir calorifique cherché**.

12^e LEÇON

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

2^e Partie

Production de la vapeur au moyen de la chaleur.

Pression.

On peut aboutir à cette notion de plusieurs manières et il est même nécessaire que vous vous exerciez à la rechercher dans les exemples d'application qui se présentent nombreux dans un atelier de chemin de fer.

Supposons un cylindre vertical fermé à la partie inférieure et contenant de l'eau par exemple. Sur cette eau repose un piston de 0m.40 de diamètre chargé d'un poids de 12560 kil. Il est bien évident que ce poids de 12560 kgs est aussi supporté par la surface de l'eau qui est égale à celle du piston, ou :

$$3,14 \times 20 \times 20 = 1256 \text{ cm}^2.$$

Le poids de 12560 kgs se répartit également sur toute la surface et donne par conséquent sur 1 cm² une charge de $12560/1256 = 10$ kgs.

Nous dirons que cette eau est soumise à une pression de 10 kgs par cm².

En résumé il n'y a là qu'une question de bon sens. Pourtant nous insistons encore pour bien donner à ce fait, très simple, l'interprétation utile au point de vue pratique.

Maintenant que ce liquide supporte de la part du piston une pression de 10 kgs par cm² supposons que nous greffions sur le côté du cylindre un autre cylindre fermé par un piston de 0m.20 de diamètre par exemple.

Quel est le poids qu'il faudra faire agir sur ce piston pour le maintenir en équilibre? L'expérience démontrerait qu'il faut un poids égal à la surface du piston en cm² multipliée par la pression de 10 kgs.

$$\text{Surface du piston en cm}^2 = 3,14 \times 10 \times 10 = 314 \text{ cm}^2$$

$$\text{Force totale agissant sur le piston} = 314 \times 10 = 3140 \text{ kgs.}$$

La pression d'un liquide, d'une vapeur, etc., telle qu'on la conçoit dans les applications de mécanique est ce qui suit :

On envisage 1 cm² de surface extérieure de ce liquide ou de cette vapeur, on place sur cette surface un petit piston pour recevoir la pous-

sée et enfin on place sur ce piston une charge suffisante pour équilibrer la poussée du liquide ou de la vapeur. Le nombre de kilogr. ainsi trouvé représente la pression en kgs. par centimètre carré.

REMARQUE. Vous avez trop souvent entendu parler d'atmosphères quand il s'agissait de pression pour que je n'explique pas ce terme. C'est aussi la pression exercée par un liquide ou par une vapeur sur un petit piston conventionnel ayant 1 cm² de surface: on dit que cette pression est un **atmosphère** quand elle s'élève à 1 kg,033 par cm².

Elle est si peu différente de la première que, pour ce qui nous concerne, elle pourra y être assimilée.

Mesures de pression.

Supposons que, au lieu d'équilibrer cette pression sur un piston de 20 centimètres de diamètre, nous nous proposons de l'équilibrer sur un piston de 1/10 de cm² de section. Le poids qu'il faudra faire agir ne sera plus que de 1/10 cm² \times 10 = 1 kg.

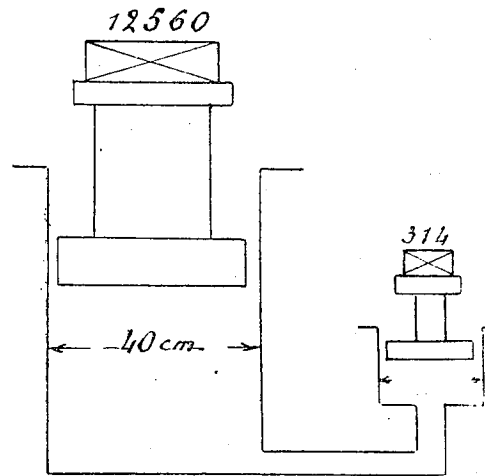
Le poids de 1 kilogr. vous indique que la pression de cette eau est de 10 kilogr. par cm² (au même titre que le poids de 3140 kgs agissant sur un piston de 314 cm² et que le poids de 12560 kgs. agissant sur un piston de 1256 cm²).

Nous profiterons de cette remarque pour mesurer les pressions au moyen d'appareils très simples, peu encombrants, que vous avez

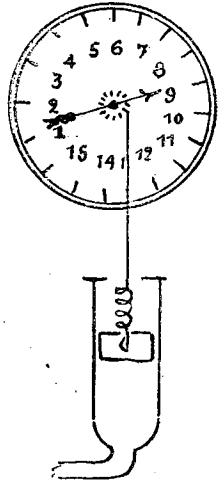
observés souvent sur les chaudières et qui portent le nom de **manomètres**.

Au lieu du poids de 1 kilogr., nous plaçons sur le petit piston un ressort convenablement choisi qui exerce une poussée d'autant plus forte qu'il est plus comprimé.

Quand la pression agit sur le piston, celui-ci se déplace en comprimant le ressort jusqu'au moment où celui-ci développe une poussée



égale à 1 kilogr. Le petit piston est muni d'une tige taillée en crémaillère et faisant tourner une petite roue dentée. Sur l'axe de cette roue dentée est calée une aiguille qui tourne en face d'un cadran. Nous graduons ce cadran de la façon suivante: là où l'aiguille s'arrête nous



marquons 10. Chaque fois que l'aiguille de l'appareil sollicitée par une certaine pression viendra se replacer en face du chiffre 10, nous saurons que la pression mesurée est de 10 kilogr par cm^2 . Nous renouvelons l'expérience en faisant agir sur le petit piston successivement des pressions de 1, 2, 3, 4, etc. kgs. par cm^2 . Nous indiquerons les mêmes chiffres aux points où l'aiguille s'arrête.

La réalisation pratique du manomètre est un peu différente: le piston est remplacé par une membrane flexible appelée diaphragme, etc. ainsi qu'il vous sera enseigné dans la partie pratique du cours.

Vaporisation.

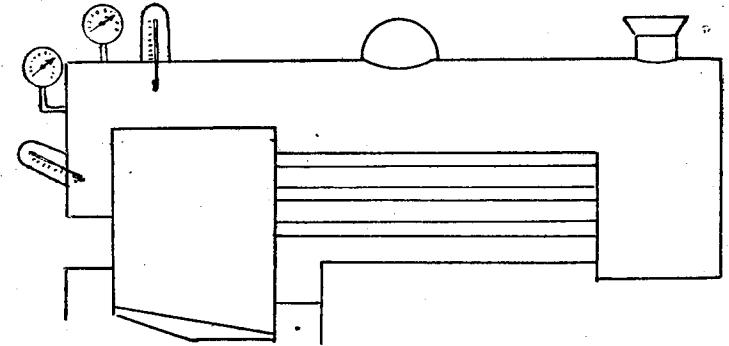
Nous étudierons sous ce titre les phénomènes qui se passent dans la chaudière. Le charbon que nous brûlons dans le foyer développe des calories; celles-ci, en pénétrant dans l'eau par un mécanisme que nous étudierons immédiatement après, vont produire le dégagement de vapeur. Celle-ci, en s'accumulant dans la chaudière, produit une pression de plus en plus forte.

Nous supposons cette chaudière aménagée de la manière suivante (ce qui nous permettra de faire les constatations dont nous avons besoin pour faire connaître les propriétés de la vapeur qui nous intéressent):

Un thermomètre plonge dans l'eau et un autre dans la vapeur: un manomètre est placé sur la chambre d'eau et un autre sur la chambre de vapeur.

Nous ne cherchons pas à nous rendre compte ni du pourquoi, ni du comment dans cette affaire: cela ne nous avancerait au point de vue pratique. Nous allons montrer ce qu'il faut retenir et le parti qu'il faut en tirer.

I). Nous constatons d'abord, ainsi que nous l'avions prévu, que les deux manomètres marquent des pressions concordant à chaque instant. Il doit en être ainsi puisque le liquide et la vapeur sont con-



tenus dans la même chaudière. Nous ferons nos observations pour les différentes pressions dans l'ordre suivant: 1 kg., 2 kg.,... jusque...

16 kg/cm^2 au fur et à mesure où nous trouverons un élément intéressant, nous inscrirons les valeurs sur une ligne horizontale en face des différentes pressions.

II). Pour chacune de ces pressions nous constatons que les deux thermomètres marquent des températures identiques pour un instant donné, c'est-à-dire que l'eau et la vapeur se maintiennent à la même température. Il en serait difficilement autrement puisque, si l'un des corps se trouvait à une plus forte température que son voisin, il y aurait immédiatement réchauffage du plus froid.

III). La température marquée en même temps par les 2 thermomètres est d'autant plus élevée que la pression est elle-même élevée. Aux pressions dont il a été question ci-dessus, correspondent les températures indiquées dans la seconde ligne:

Pressions =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Températures =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Qu'est-ce que cette température représente? C'est la température pour laquelle il y a production de vapeur à une pression déterminée: c'est la **température d'ébullition**.

IV). Si nous retirons un kilogr. de vapeur de cette chaudière quand elle est à une pression déterminée et si nous mesurons la quantité de calories qui s'y trouvent, nous obtenons les chiffres suivants que nous ajoutons au tableau précédent. Ces nombres représentent les calories à introduire dans un kilogramme d'eau pour le transformer en vapeur à une pression déterminée; c'est la chaleur totale:

Pressions =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Températures =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur totale =

636	642	647	650	652	654	656	658	659	661	662	663	664	665	666	667
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

V). Si nous retirons un kilogramme d'eau de la même chaudière, nous constaterions également qu'il contient un certain nombre de calories. Nos connaissances suffisent pour la déterminer.

13^e LEÇON

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

En effet, à une pression de 5 kgs, par exemple, correspond une température de 150 degrés. Or, un kilogramme d'eau à 150° contient 150 calories. Le même calcul effectué pour chaque pression nous conduit à la quatrième ligne du tableau ci-après. Les nombres qui y sont inscrits représentent les quantités de calories nécessaires pour porter 1 kilogramme d'eau à la température d'ébullition:

Pressions =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Températures =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur totale =

636	642	647	650	652	654	656	658	659	661	662	663	664	665	666	667
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur d'écht. =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

VI) La différence entre la chaleur totale et celle d'échauffement ne peut représenter que la quantité nécessaire pour faire passer le kg. d'eau (déjà chauffé à la température d'ébullition) de l'état liquide à l'état de vapeur. C'est ce que vous désignerez par vaporisation et la chaleur correspondante porte le nom de chaleur de vaporisation. Elle figure à la 5e ligne horizontale du tableau pour chaque pression:

Pressions =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Températures =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur totale =

636	642	647	650	652	654	656	658	659	661	662	663	664	665	666	667
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur d'échauffement =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur de vaporisation =

537	528	515	508	502	497	492	489	485	483	479	477	474	472	469	467
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

VII). Il nous reste à connaître une autre propriété fort intéressante au point de vue de l'application aux machines.

La vapeur est destinée, en effet, à remplir le cylindre de la machine sur toute la partie de la course où le tiroir de distribution livre passage à la vapeur de la chaudière.

Au point de vue de cette utilisation, c'est le volume occupé par le kilogramme de vapeur qui nous intéresse. On a pu mesurer pour chaque pression le volume occupé par ce kilogramme de vapeur. On a trouvé les chiffres suivants contenus dans la 6e ligne horizontale qui montrent que le volume occupé par le kilogramme de vapeur diminue quand la pression augmente :

Pressions =

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----

Températures =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur totale =

636	642	647	650	652	654	656	658	659	661	662	663	664	665	666	667
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur d'échauffement =

99	119	132	142	150	157	164	169	174	178	183	186	190	193	197	200
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Chaleur de vaporisation =

537	528	515	508	502	497	492	489	485	483	479	477	474	472	469	467
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Volume occupé (L) =

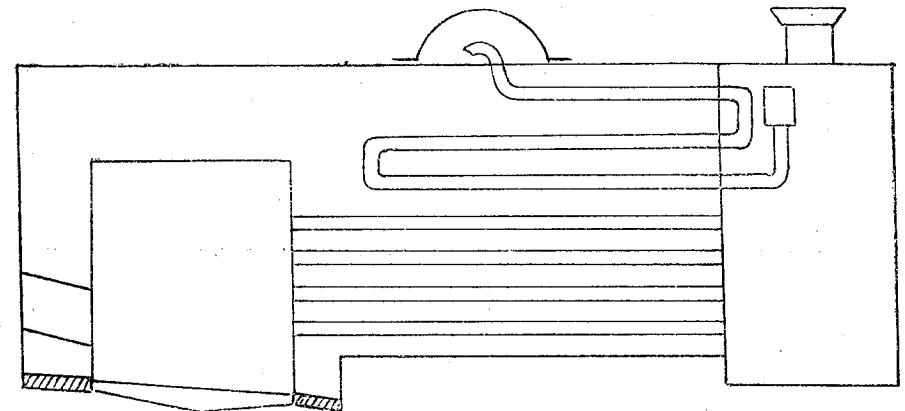
1705	887	606	462	374	315	273	240	215	195	178	165	152	142	133	125
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Surchauffe.

La chaleur dégagée par la combustion du charbon dans nos foyers de locomotives est encore utilisée à produire la surchauffe. Qu'est-ce que la vapeur surchauffée? C'est la vapeur obtenue précédemment pendant la période de vaporisation sur laquelle on fait agir la chaleur de façon à augmenter sa température.

Nous avons déjà vu que tant que la vapeur reste au contact de l'eau de la chaudière, sa température ne peut s'élever au dessus de la température d'ébullition.

Pour produire le surchauffe, il faut, en premier lieu, séparer la vapeur de l'eau de la chaudière. C'est ce qui se passe dans le surchauffeur représenté schématiquement par le dispositif suivant :



La vapeur de la chaudière sort par le modérateur et vient au collecteur. De là, elle passe dans les éléments surchauffeurs où elle est en contact avec les gaz chauds du foyer.

Progressivement sa température augmente jusqu'à atteindre 350 ou 400 degrés.

Tout ce qui précède vous a été donné par l'observation. Vous avez dû observer également que les locomotives à surchauffe consomment moins d'eau et de charbon que les mêmes locomotives à vapeur saturée.

Vos connaissances sur ce sujet sont presque complètes: les définitions de la calorie et de la chaleur spécifique que nous avons étudiées vont nous permettre d'y ajouter l'élément qui, dans beaucoup de circonstances, a dû vous manquer pour expliquer certaines constatations.

Quand vous communiquez des calories à une vapeur sortant de la chaudière, vous augmentez progressivement sa température au dessus de sa température de vaporisation.

Vous savez aussi que par augmentation de 1 degré, il faut fournir au kilogramme de vapeur un nombre de calories qui porte le nom de chaleur spécifique. Pour la vapeur, cette chaleur spécifique est d'environ: 0 cal. 50.

Donc quand 1 kilogramme de vapeur, sortant d'une chaudière à 12 kgs de pression par exemple, ou à la température correspondante de 186°, doit être surchauffé à 350°, c'est-à-dire de 164 degrés, il réclamera une quantité de calories calculée comme suit:

Pour une élévation de température de 1°, 1 kg. de vapeur demande
 id. id. id. id. 164°, id. id. $0,5 \times 164 =$
 82 calories.

Cette nouvelle quantité de calories n'a pas augmenté la pression de la vapeur, mais l'augmentation de la température a produit un accroissement de volume indiqué par les quelques chiffres du tableau suivant à titre d'exemples.

Supposons une surchauffe fixe à 350 pour la vapeur sortant de la chaudière depuis une pression de 10 kgs par cm² jusque 16 Kgs/cm², nous avons, en chiffres ronds, les résultats suivants:

Pression en Kg/cm ²	10	11	12	13	14	15	16
Volume du kg. de vapeur saturée	195	178	165	152	144	133	125
Volume du kg. de vapeur surchauffée à 350°	290	265	238	219	202	188	175

De cet accroissement de volume pour un même poids il résulte que la vapeur est plus légère et plus fluide.

Applications.

Nous montrerons par quelques exemples le parti que l'on peut tirer de ce que nous venons de voir. Mais c'est surtout après avoir étudié la locomotive que vous vous rendrez compte de l'utilité pratique de ces quelques notions.

1). **La surchauffe est avantageuse parce qu'elle évite les condensations dans les cylindres.** Lorsque le cylindre d'une machine est alimenté par de la vapeur saturée, il se produit une condensation de cette vapeur pouvant aller jusque 50 p.c. pour prendre un des chiffres les plus forts qui aient été relevés.

Il faut qu'il en soit ainsi pour les raisons suivantes:

Quand la vapeur saturée entre dans le cylindre, elle y trouve une paroi froide et elle doit la réchauffer. Or, cette vapeur saturée ne peut céder les calories nécessaires au réchauffage de la paroi sans se condenser en partie puisqu'elle ne contient que la quantité strictement nécessaire pour devenir vapeur.

Quand on alimente le même cylindre par de la vapeur surchauffée, il ne se produit aucune condensation parce que la vapeur surchauffée contient toutes ses calories de surchauffe qu'elle peut céder pour réchauffer le métal du cylindre sans se condenser.

2) Nous avons vu également que la surchauffe nous donne une vapeur occupant un plus grand espace (volume). Le résultat est une nouvelle économie d'eau qui s'ajoute à celle provenant de l'absence de condensation dont il vient d'être question.

En effet, pour remplir un cylindre de 600 × 600 à raison de 30 p.c. il faut les poids suivants de vapeur saturée et de vapeur surchauffée:

Vapeur saturée à 12 kgs:

Volume du cylindre en litres $\frac{6 \times 6 \times 3,14}{4} \times 6 = 169$ litres.

Admission sur 30 p.c. = $169 \times 30/100 = 50,7$ litres,

Le kilogramme de cette vapeur occupant un volume de 165 litres, il faudra par coup de piston:

$$50,7/165 = 0,307 \text{ Kgs.}$$

Vapeur surchauffée.

La même vapeur surchauffée à 350° occupe par kilog. un volume de 238 litres.

Donc la dépense en kilogr. de vapeur par coup de piston sera de
 $50,7/238 = 0,213$ litres (ou kilogr.)

D'où économie en kgs. d'eau par coup de piston:
 $0,307 - 0,243 = 0,094$ kgs.

Pour une machine faisant 150 tours par minute ou 300 coups de piston, l'économie en une heure se chiffre, pour les deux cylindres, par :

$$0,094 \times 300 \times 2 \times 60 = 3384 \text{ kilogr.}$$

ou 3 m³, 384 approximativement.

Remarque. On pourrait multiplier ces exemples, mais ces discussions seront mieux en situation quand vous aurez étudié la description des locomotives et des distributions de vapeur.

14^e LEÇON.

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

Transmission de la chaleur.

Dans le paragraphe de la vaporisation, nous avons dit que les calories entraînent dans l'eau par un mécanisme dont nous devons étudier le principe. Qu'est-ce que la transmission de chaleur?

Les calories dégagées par la combustion sont absorbées en premier lieu par les gaz et les matières incombustibles qui restent sur la grille. Chaque fois que des corps absorbent des calories, leur température s'élève. C'est le cas pour les matières telles que : gaz et mâchefers que nous trouvons dans le foyer après la combustion.

Si ce n'était compliquer inutilement votre travail, nous pourrions calculer cette température : mais nous pouvons arriver aux conclusions qui vous intéressent sans cette ressource et c'est pour cela que nous évitons cette complication.

La chaleur se transmet à l'eau de la chaudière de deux manières :

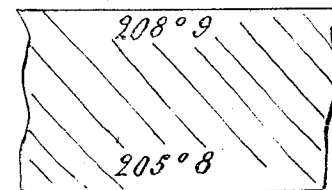
1) **Par rayonnement.** — Quand nous approchons la main d'un poêle rougi, nous avons immédiatement la sensation de chaleur : c'est le rayonnement. Un corps chaud envoie vers un corps froid qui l'environne des calories et d'autant plus que ce corps chaud est à plus haute température. Voilà un fait qu'il est inutile de prouver par d'autres considérations. Pour que ce rayonnement se produise avec intensité, il faut que le charbon qui se trouve sur la grille soit porté à une aussi haute température que possible. Alors il devient incandescent : c'est ce que vous appelez un feu bien clair. Pour conserver à la surface

du feu cette allure favorable, il faudra charger le combustible par petites quantités : **c'est la chauffe rationnelle ou automatique.** Si vous voulez appliquer les connaissances que vous avez acquises jusque maintenant, vous trouverez autant d'arguments que vous voulez pour justifier cette manière de travailler sans pouvoir lui opposer aucun inconvénient. Vous raisonnerez comme suit :

a) Une charge importante introduite en une fois dans le foyer y produira (d'après la règle des mélanges d'un corps froid avec un corps chaud) un abaissement de la température, une surface moins incandescente du charbon : bref, le phénomène du rayonnement est réduit.

b) Le charbon ainsi chargé s'échauffe et distille des matières volatiles sous forme de fumées. Si cette fumée est en minime quantité, (cas du chargement par petites parties) elle pourra être brûlée au moyen d'une admission d'air au dessus de la grille (par les ouvertures de la porte). Par contre, dans le cas d'une charge importante, il y a production intense de fumée et combustion incomplète : il est, en effet, impossible de réaliser la combustion de cette grande masse de fumée au moyen d'une entrée d'air, par la porte. Ces fumées s'échappent par la cheminée.

2) **Par contact.** — Les gaz chauds provenant du combustible lèchent les tôles du foyer et les parois des tubes (c'est-à-dire la surface de chauffe). Pour que les calories entrent dans l'eau, il faut qu'elles pénètrent dans la tôle, qu'elles se propagent dans son épaisseur et enfin que ce métal les cède à l'eau qui les touche. L'expérience démontre que les calories ne peuvent se déplacer que sous l'action d'une différence de température et que ce mouvement se produit du corps le plus chaud vers le plus froid. Il nous a paru que le phénomène de transmission devient plus compréhensible quand, au lieu de se servir des formules courantes, on considère la différence de température comme une poussée destinée à vaincre les résistances que les calories rencontrent pour passer du gaz dans l'eau. Ces résistances sont dues à 3 causes ainsi que nous l'avons exposé ci-dessus :



1) celle qui se présente au moment où les calories doivent entrer dans le métal : nous la représentons par 100 et nous déterminons les autres en proportion.

2) celle qui provient de l'épaisseur du métal. Comparativement à la première elle peut être représentée en chiffres ronds par 0,025 pour 1 millimètre d'épaisseur quand il s'agit du cuivre: pour une paroi de 20 mm. nous aurons une résistance de

$$0,025 \times 20 = 0,5$$

3) enfin celle provenant du contact de la tôle et de l'eau, évaluée comparativement aux deux autres, est environ de:

1

Supposons à titre d'exemple que la température des gaz chauds soit de 800° et celle de l'eau 200°: la chute de 600° va se répartir entre les différents points du parcours suivant les résistances.

$$\text{Résistance totale} = 100 + 0,5 + 1 = 101,5.$$

1ère résistance. Pour 101,5 de résistance il faut 600°.

$$\begin{array}{l} \gg 1 \quad \gg \quad \gg \quad 600/101,5 = 5,911 \\ \gg 100 \quad \gg \quad \gg \quad 5,911 \times 100 = 591,1 \end{array}$$

De cette façon, la température de la face de la tôle exposée aux gaz chauds est de $800 - 591,1 = 208,9$.

2e résistance. Pour 0,5 de résistance il faut $5,911 \times 0,5 = 3^\circ$ (environ)

$$\begin{array}{l} \text{Et la température de la face de la tôle exposée à l'eau est} \\ 208,9 - 3 = 205,9. \end{array}$$

3e résistance. Pour 1 de résistance il faut $5,9 \times 1 = 5,9^\circ$.

$$\text{Et la température passe en effet de } 205,9 \text{ à } 200^\circ.$$

15° LEÇON.

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

Rôle des incrustations.

Notre but, en traitant cette question avec quelques détails, était de mettre en évidence le rôle des incrustations.

Supposons que la tôle de cuivre envisagée ci-dessus soit recouverte d'une incrustation de 5 mm. d'épaisseur.

La résistance d'une incrustation dépend évidemment de sa composition: mais elle est en tout cas de l'ordre de 200 fois celle du cuivre. Dans ces conditions, la couche de 5 mm. d'épaisseur donne, comparativement aux résistances évaluées ci-dessus:

$$0,025 \times 200 \times 5 = 25$$

En recommençant les calculs vus ci-dessus, on trouve:

$$\text{Résistance totale} = 100 + 0,5 + 25 + 1 = 126,5$$

$$\text{Chute de température par unité de résistance: } 600/126,5 = 4,74$$

Et les températures s'échelonnent comme l'indique le schema suivant:

Les résultats sont manifestes.

1) La présence d'incrustations sur la tôle du foyer crée une résistance importante au passage des calories: dans le cas traité ci-dessus elle est environ 25 p.c. et cette valeur est certainement plus faible que les valeurs courantes. Il en résulte une diminution correspondante du nombre de calories transmises.

2) la tôle du foyer s'échauffe dans le cas traité de 120 degrés environ, ce qui amène une déformation ainsi que nous allons l'établir dans le chapitre suivant.

Or, cette déformation est dangereuse aux deux points de vue suivants:

- résistance de la tôle elle-même et des assemblages,
- étanchéité de ces derniers.

Effets de dilatation.

Nous venons de voir que la présence d'incrustations détermine l'échauffement des tôles: il en résulte une déformation que nous pouvons fixer comme suit au point de vue de son importance:

Il n'y a aucune difficulté à mesurer de combien s'allonge une longueur de 1 mètre de matière quelconque quand sa température s'élève de 1 degré. Ce chiffre porte le nom de coefficient de dilatation. On obtient alors la dilatation d'un corps donné subissant un certain accroissement de température en multipliant le coefficient de dilatation de la matière par la dimension envisagée et par l'accroissement de température.

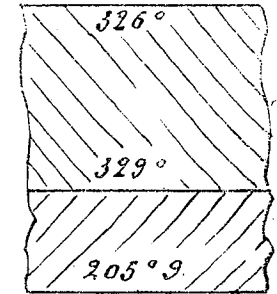
Voici quelques coefficients de dilatation pour les matières couramment employées dans la construction des chaudières:

cuivre	= 0,000017
fer et acier	= 0,000012
laiton	= 0,000019

Applications.

Quel allongement la paroi latérale du foyer en cuivre d'une type 32 d'une longueur de 2m. 450 subit-elle pendant la mise en pression de la locomotive?

Comme les calculs précédents le prouvent, la température atteinte par la tôle du foyer est d'environ 200° (sans incrustation) et de 320° (avec incrustation).



L'allongement dans l'un et l'autre cas serait de :

$$2,45 \times 0,00017 \times 200 = 8 \text{ mm},3$$

$$2,45 \times 0,00017 \times 320 = 13 \text{ mm},2$$

Si la dilatation de cette tôle est contrariée par ses assemblages du pourtour, elle exercera une poussée sur les parois qui l'emprisonnent. Vous vous rendrez compte de la valeur de cette poussée de la façon suivante :

Supposons que cette tôle se soit librement dilatée de 8 mm,3 cherchons la force qu'il faut faire agir sur elle pour la raccourcir de ces 8 mm,3.

Poser la question c'est la résoudre : il s'agit de force excessivement grande et ceci explique la très grande sensibilité des foyers aux variations brusques de température.

16^e LEÇON.

ELEMENTS DE MECANIQUE GENERALE (suite)

3^e PARTIE. - PRODUCTION DU TRAVAIL AU MOYEN DE LA VAPEUR.

Unité de travail. Kilogrammètre.

Nous pouvons établir la notion de travail en suivant une méthode analogue à celle qui a servi pour traiter la chaleur.

Cette notion de travail vous est d'ailleurs tout-à-fait familière : il suffit de la préciser par un exemple.

Pour élever un poids d'eau donné à une hauteur donnée (comme le fait une pompe) il faut développer un certain travail. Ce premier travail vous suffit pour évaluer tous les travaux à développer pour soulever un autre poids d'eau à une hauteur quelconque. Pour un poids d'eau deux fois plus fort, la hauteur restant la même, il faut un travail double : si, au contraire, la hauteur était double, le poids restant le même, le travail serait aussi doublé. En doublant en même temps le poids et la hauteur, le travail sera 4 fois plus grand, etc.

Il doit vous apparaître immédiatement que notre raisonnement serait facilité si nous donnions au premier travail une signification plus précise : c'est ce qui a été fait en pratique.

Les mécaniciens ont envisagé un poids d'eau de 1 kg. à élever à une hauteur de 1 mètre et ils ont donné au travail nécessaire pour obtenir le résultat le nom de **kilogrammètre**. Ce choix est particulièrement heureux parce que le mot rappelle bien les idées qui y sont contenues.

Cette définition s'appliquera sans aucune difficulté. Chaque fois qu'un poids, une force ou une poussée d'un kilogr. agit sur un mètre de déplacement, il y a production d'un **kilogrammètre**.

Pour un déplacement de 1 mètre, il y aura autant de kilogrammètres produits que la force contient de kilogs.

Pour une même force de 1 kilogr. il y aura autant de kilogrammètres produits que le chemin parcouru contient de mètres.

Enfin, pour une force donnée en kilogr. et un chemin parcouru par cette force donné en mètres, le travail est exprimé en kilogrammètres par le produit de la force et du chemin parcouru.

Exemple. - Un piston de 600 mm. de diamètre soumis à l'action d'une vapeur de 12 kgs par cm², décrit sa course de 600 mm. Combien a-t-il produit de kilogrammètres ?

Solution. - La surface du piston est de $3,14 \times 60 \times 60 = 2826$

La poussée totale sur le piston est de $2826 \times 12 = 33912$ kgs.

Le chemin parcouru exprimé en mètres = 0 m. 6.

Donc travail en kilogrammètres = $33912 \times 0,6 = 20347,2$.

Cheval-vapeur. Kilowatt. etc.

Cet exemple a été choisi pour montrer que le nombre de kilogrammètres développés dans les machines devient rapidement très grand. C'est ce qui explique que, dans les applications de la mécanique, on a recours à d'autres unités telles que :

a) le **cheval-vapeur** qui contient 75 kilogrammètres.

Pour évaluer un travail en chevaux, il suffit de l'évaluer en kilogrammètres et de diviser ce nombre par 75. Dans le cas traité ci-dessus, nous avons trouvé un travail de 20347,2 KGM. : pour l'évaluer en chevaux, nous divisons par 75 :

$$20347,2 / 75 = 271,3 \text{ chevaux.}$$

b) Le kilowatt employé surtout dans les machines électriques, vaut 1,36 cheval-vapeur. Dans le cas précédent, nous aurons donc

$$271,3 / 1,36 = 200 \text{ kilowatts environ.}$$

Unité de puissance.

Nous ne changerons rien à ce qui vient d'être dit mais nous allons y introduire la notion de temps parce que vous avez dû vous dire qu'au point de vue pratique il n'est pas indifférent qu'un même travail, exprimé par un certain nombre de kilogrammètres, de chevaux ou de kilowatts, soit développé en un temps plus ou moins long. Votre observation est exacte : c'est pour en tenir compte que nous allons

caractériser une machine au moyen d'un travail qu'elle peut produire par seconde et **auquel on donne le nom de puissance.**

C'est surtout du cheval-vapeur que nous nous servirons et nous nous en tiendrons à cette définition:

La puissance d'une machine s'exprime par le nombre de chevaux développés par seconde.

Exemple. — Nous ne pouvons parler de la puissance de la machine étudiée jusque maintenant sans fixer la durée du coup de piston en secondes. Pour cela on compte le nombre de tours ou de coups de piston par minute. Supposons que la même machine fasse 150 tours par minute et qu'elle comporte 2 cylindres.

Quelle est la puissance en chevaux?

Par coup de piston, un cylindre développe: 271,3

Par deux coups de piston, un cylindre développe: $271,3 \times 2 = 542,6$.

Par 2 coups de piston, deux cylindres développent: $542,6 \times 2 = 1085,2$

Pour 150 tours, ou par minute, la puissance développée est:

$$1085,2 \times 150 = 162780.$$

Par seconde, la puissance développée est: $\frac{162780}{60} = 2713$ chevaux.

Définition de la détente.

Dans les exemples traités jusque maintenant, nous avons supposé que la vapeur était admise dans le cylindre sur toute la longueur de la course: c'est ce qu'on désigne par **marche à pleine pression.**

Quand nous avons traité de l'économie de la surchauffe nous avons admis la vapeur dans le cylindre sur les 3/10 de la course: ce fonctionnement de la machine est appelé **marche à détente.**

En effet les 7/10 restants de la course de piston s'effectuent sans nouvelle dépense de vapeur: la vapeur admise pendant les 3/10 précédents augmente de volume, diminue de pression, ou, en un mot, se détend. Le chiffre 7/10 exprime ce qu'on est convenu de dénommer **le degré de détente**, et le chiffre 3/10 exprime **le degré d'admission.**

De même à un degré d'admission de 2/10 correspond un degré de détente de 8/10, etc.

Que se passe-t-il au cours de la détente?

Comme nous l'avons dit ci-dessus, la vapeur occupe un volume de plus en plus grand et la pression va en diminuant. La loi suivant laquelle cette pression diminue quand le volume augmente diffère d'un cas à l'autre, mais, en général, elle est très voisine de la forme suivante que nous adoptons pour deux motifs:

a) elle est plus simple,

b) elle suffit pour la démonstration du principe qui vous intéresse.

Quand le volume augmente dans un certain rapport, la pression diminue dans le même rapport.

Ainsi, si le volume occupé par une vapeur devient 2, 3, 4 etc. fois plus grand, la pression devient 2, 3, 4 fois plus petite.

Economie de la détente.

Le travail développé par une machine à vapeur en général est d'autant moins coûteux que le degré d'admission est réduit ou que le degré de détente est grand.

Supposons un cylindre de 600 mm. de course et de 500 mm. de diamètre. Nous allons faire effectuer une course au piston en réalisant les deux degrés d'admission 2/10 et 4/10 à titre d'exemple, avec une vapeur à 12 kgs. et en comparant les résultats.

1ère hypothèse: admission à 2/10.

Pour le volume correspondant à 2/10 la pression est de 12 kgs.

»	»	»	»	»	3/10	»	»	2/3 de 12 = 8 K.
»	»	»	»	»	4/10	»	»	2/4 de 12 = 6 K.
»	»	»	»	»	5/10	»	»	2/5 de 12 = 4,8 K.
»	»	»	»	»	6/10	»	»	2/6 de 12 = 4 K.
»	»	»	»	»	7/10	»	»	2/7 de 12 = 3,4 K.
»	»	»	»	»	8/10	»	»	2/8 de 12 = 3 K.
»	»	»	»	»	9/10	»	»	2/9 de 12 = 2,7 K.
»	»	»	»	»	10/10	»	»	2/10 de 12 = 2,4 K.

Le résultat est le suivant:

Pendant les 2/10 de l'admission, la pression sur le piston est de 12 kgs par cm². Pendant les 8/10 de la détente la pression sur le piston varie de 12 kgs à 2,4 kgs en passant par les valeurs indiquées au tableau précédent: nous pouvons supposer, sans grande erreur, que la pression agissant sur le piston sur les 8/10 de la détente est la valeur moyenne obtenue en faisant la somme des pressions trouvées et en divisant par le nombre total

$$12 + 8 + 6 + 4,8 + 4 + 3,4 + 3 + 2,7 + 2,4 = 46,3$$

en divisant par 9 on obtient $46,3/9 = 5,2$ kgs.

Quel est le travail produit pendant la course? Il comprend le travail développé pendant les 2/10 d'admission et les 8/10 de détente.

Pendant les 2/10 d'admission: Cherchons la surface du piston en cm² = $3,14 \times 25 \times 25 = 1962,5$ cm²:

$$\text{Poussée totale due à la pression de 5,2 kg. par cm}^2: \\ 1962,5 \times 12 = 23530 \text{ Kgrs.}$$

Chemin parcouru pendant l'admission = les 2/10 de la course ou les 2/10 de 0,60 = 0,12 m.

Donc le travail en kilogrammètres est égal à :
 $23550 \times 0,12 = 2826 \text{ KGM.}$

Pendant les 8/10 de la détente:

Poussée totale due à la pression de 5,2 kg. par cm²:
 $1962,5 \times 5,2 = 10205 \text{ kgs}$

Chemin parcouru pendant la détente = les 8/10 de la course ou les 8/10 de 0,60 m. = 48 m.

Donc le travail en kilogrammètres est égal à :
 $10205 \times 0,48 = 4898 \text{ KGM.}$

Total: $2826 + 4898 = 7724 \text{ KGM.}$

2e hypothèse. Nous effectuons le même calcul. Nous pouvons prévoir le résultat. En admettant la vapeur sur les 4/10 de la course, nous allons dépenser 2 fois plus de vapeur.

Cette marche à 4/10 d'admission ne sera donc aussi économique que la précédente que si nous trouvons pour travail développé par coup de piston le double du travail correspondant c'est-à-dire $7724 \times 2 = 15448 \text{ KGM.}$

Pour le volume correspondant à 4/10 la pression est de 12 kgs.

- » » » » 5/10 » » 4/5 de 12 = 9,6 k.
- » » » » 6/10 » » 4/6 de 12 = 8 k.
- » » » » 7/10 » » 4/7 de 12 = 6,9 k.
- » » » » 8/10 » » 4/8 de 12 = 6 k.
- » » » » 9/10 » » 4/9 de 12 = 5,3 k.
- » » » » 10/10 » » 4/10 de 12 = 4,8 k.

La pression moyenne s'obtient comme dans le cas précédent :

Somme: $12 + 9,6 + 8 + 6,9 + 6 + 5,3 + 4,8 = 52,6.$

$52,6$ divisé par $7 = 7,5 \text{ kgs.}$

Calculons le travail développé pendant ce coup de piston:

Pendant les 4/10 d'admission:

Surface du piston = $1962,5 \text{ cm}^2.$

Poussée totale due à la pression de 12 kgrs par cm²:
 $1962,5 \times 12 = 23558 \text{ kgs.}$

Chemin parcouru pendant les 4/10 d'admission = les 4/10 de la course ou les 4/10 de 0,6 = 0,24 m.

Travail produit pendant les 4/10 d'admission:
 $23558 \times 0,24 = 5652 \text{ KGM.}$

Pendant les 6/10 de détente:

Poussée totale due à la pression moyenne de 7,5 kg.
 $1962,5 \times 7,5 = 14718,75.$

Chemin parcouru pendant les 6/10 de la détente:
 $6/10$ de 0,6 = 0,36.

Travail produit pendant les 6/10 de détente
 $14718,75 \times 0,36 = 5298 \text{ KGM.}$

Total: $5652 + 5298 = 10950 \text{ KGM.}$

Conclusions.

Pour avoir obtenu le travail correspondant à la dépense de vapeur double il aurait fallu obtenir 15448 KGM. Il y a donc une perte de :
 $15448 - 10950 = 4498 \text{ KGM.}$ c'est-à-dire 30 p.c.

Cet exemple montre le bénéfice qui doit provenir de l'emploi des fortes détente.

Remarque. — On peut se demander dès lors s'il est encore rationnel de réaliser la marche à forte admission.

La réponse est contenue dans les chiffres que nous avons établis.

Le coup de piston à 2/10 d'admission nous a donné un travail de 7724 kilogrammètres.

Le coup de piston à 4/10 d'admission nous a donné un travail de 10950 kilogrammètres.

Si cette seconde marche est moins économique que la première, il n'en est pas moins vrai qu'elle augmente la puissance de la machine. Elle est donc recommandable quand il faut faire développer à la machine une puissance plus grande comme, par exemple, pour hâter la mise en vitesse, pour gravir une rampe, etc.

Mais chaque fois qu'il sera possible on reprendra la marche à grande détente.