

## APPAREILS A VAPEUR.

### DE L'EMPLOI DES CHAUDIÈRES A HAUTE PRESSION A BORD DES BATEAUX A VAPEUR.

## RAPPORT

FAIT A LA COMMISSION DES PROCÉDÉS NOUVEAUX, PAR M. PRISSE,  
INGÉNIEUR ADJOINT.

La législation sur l'emploi des machines à vapeur a été établie, en Belgique, par deux arrêtés royaux.

Le premier, daté du 19 septembre 1829, défendait entièrement, au moins jusqu'à décision ultérieure, de placer des machines à vapeur travaillant à haute pression, à bord des bateaux.

Le second, daté du 24 juin 1859, n'a pas rapporté explicitement cette défense, mais il a déterminé les appareils dont doivent être garnies les chaudières des machines destinées à la locomotion, *par terre et par eau*, ainsi que les épreuves auxquelles elles doivent être soumises, sans établir la moindre distinction entre celles à haute et à basse pression.

Or, toutes les machines à vapeur employées à la locomotion par terre sont à haute pression, et un de nos constructeurs a placé, dans un bateau, une chaudière en tous points analogue à celle de ces machines.

L'intervention de l'administration dans cette question est motivée par des raisons de sûreté publique; en effet, les bateaux à vapeur destinés à la navigation fluviale, comme ceux qui traversent les mers, sont, par suite des avantages qu'ils ont sur les autres bateaux et navires, presque tous affectés au transport des voyageurs: ces avantages sont la rapidité et la régularité de leur marche et l'affranchissement presque com-

plet des influences des vents et des courants, influences auxquelles toute autre navigation est plus ou moins subordonnée.

Ces avantages sont, par eux-mêmes, une cause bien efficace de sécurité; mais, si l'application de la vapeur a diminué de beaucoup les dangers ordinaires de la navigation, elle a donné lieu aussi à des accidents spéciaux sur lesquels l'attention publique a été éveillée, parce que quelques-uns d'entre eux avaient coûté la vie à un grand nombre de personnes.

Les reproches spéciaux que l'on adresse aux bateaux à vapeur, sont :

- 1°. Le danger d'explosion des chaudières;
- 2°. Les causes d'incendie à bord;
- 3°. La fréquence des collisions ou abordages, par suite de la rapidité de la marche;
- 4°. Les causes de dérangement des appareils moteurs ou machines, et les conséquences graves qui peuvent en résulter.

Nous n'avons à examiner, pour la question qui nous occupe, que les accidents signalés en premier et en dernier lieu, en recherchant et en comparant entre eux les résultats de l'emploi des machines à haute pression et des machines à basse pression; disons de suite que les faits relatifs aux explosions restent seuls en cause, dès que l'on tient compte du nombre relatif et de la gravité des conséquences de ces deux classes d'accidents.

Il serait très fâcheux d'avoir à condamner l'usage des machines à haute pression, à bord des bateaux à vapeur: il convient de l'établir d'abord; car, si l'emploi de ces machines n'avait aucun avantage et paraissait seulement donner lieu à des chances plus grandes de dangers, il est évident qu'il faudrait en défendre l'emploi; mais il n'en est pas ainsi.

En effet, chaque système de machine a, dans son application à la navigation, des avantages et des inconvénients particuliers que l'on peut classer comme suit.

Pour les machines à basse pression, les avantages sont :

qu'elles marchent avec une grande régularité et pendant longtemps, sans se déranger ;

que leur entretien est facile et économique (voir la note n° 1) ;

que, pour celles destinées à la navigation maritime, elles peuvent être constamment alimentées d'eau douce : cet avantage appartient, au reste, à toutes les machines à condensation (voir la note n° 2) ;

Enfin quelques personnes prétendent que les explosions de leurs chaudières sont moins fréquentes que celles des autres machines.

Les inconvénients des machines à basse pression sont :

De brûler une très-grande quantité de houille ;

D'être extrêmement lourdes, vu le poids de leur chaudière et celui de la houille nécessaire à leur approvisionnement (voir les notes 3 et 4) ;

D'être très-volumineuses ;

Et enfin d'être plus coûteuses que les autres machines.

Les avantages des machines à haute pression, condensation et détente (pression habituelle de 2 à 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> atmosphères), sont :

D'être, de toutes les machines à vapeur, celles qui consomment le moins de combustible et d'eau (voir note n° 4) ;

D'être moins lourdes et moins volumineuses que les machines à basse pression, surtout en ce qui concerne les chaudières (voir la fin de la note 4) ;

De pouvoir se prêter, au besoin, mieux que ces dernières, à un surcroît momentané de travail ou de vitesse.

Leurs inconvénients sont :

D'être d'un entretien un peu plus difficile et plus coûteux que les machines à basse pression.

Les machines à haute pression, avec ou sans détente, mais sans condensation, ont pour avantages :

De réunir, dans le moindre espace et avec le moindre poids, la plus grande force possible ;

De se prêter le mieux aux variations de vitesse ou de travail à produire ;

De coûter moins de premier établissement que toutes les autres machines, et d'être aussi plus faciles à établir.

Leurs inconvénients sont :

De se déranger plus fréquemment et de coûter plus d'entretien que les machines à basse pression ;

De brûler plus de combustible que les machines à haute pression, condensation et détente ;

Enfin beaucoup de personnes les regardent comme les plus dangereuses, quant aux explosions.

Quoi qu'il en puisse être, en réalité, de cette dernière circonstance, il suit déjà, de ce qui précède, que chaque genre de machine est préférable aux autres dans certains cas donnés.

Il s'ensuit aussi que la défense de placer des machines à haute pression à bord des bateaux serait un obstacle presque insurmontable, opposé à l'amélioration des machines des bateaux en général, sous le rapport de leur poids intrinsèque et surtout de celui de la houille nécessaire pour produire un effet déterminé, tandis que ces poids sont les principaux éléments qui limitent :

1°. La vitesse des bateaux à vapeur ;

2°. La longueur des trajets qu'ils peuvent parcourir ;

3°. Leur charge utile ;

4°. Le minimum du tirant d'eau des bateaux ;

5°. Et enfin le prix de revient des transports effectués.

Si, après cette seule énumération, il pouvait rester quelques doutes sur l'importance énorme que peuvent avoir les conséquences de prohibitions du genre de celle qui nous occupe, il suffirait sans doute de faire la remarque que si l'emploi des machines à haute pression avait été généralement défendu, nous serions privés encore d'une des plus admirables et fécondes découvertes de ce siècle, des machines locomotives ; nous ne connaîtrions, par conséquent, pas encore non plus les chemins de fer comme moyen de transport et de communication rapide et puissant.

On arrive à déduire de ces considérations générales que la

prohibition de l'emploi des machines à haute pression, à bord des bateaux, poserait une barrière très-fâcheuse aux progrès de l'importante industrie de la navigation à vapeur.

Examinons cependant si, par quelque raison spéciale, l'emploi de ce système de machines ne présente pas de graves dangers, auxquels celui des machines à basse pression ne donnerait pas lieu. La question se réduit à comparer les divers systèmes de chaudières et les chances d'accidents attachées à chacun d'eux; en effet, les explosions des chaudières sont les catastrophes les plus redoutables à bord des bateaux à vapeur, celles aussi sur lesquelles les adversaires des machines à haute pression insistent le plus.

En recherchant les renseignements que l'expérience aurait déjà dû acquérir, je n'ai pu arriver à aucun résultat, parce que je n'ai trouvé nulle part de statistique satisfaisante et comparative des accidents arrivés aux bateaux, ou même aux machines fixes à vapeur à haute et à basse pression.

Aux États-Unis, où les bateaux à vapeur existent en plus grand nombre que partout ailleurs, mais où peu de ces navires sont destinés à la navigation maritime, l'emploi des machines à haute pression est le plus généralement répandu; c'est aussi le pays où ces navires ont atteint la plus grande vitesse. (Voir la note n° 6.)

En Angleterre, où l'emploi des bateaux à vapeur destinés à la navigation maritime est le plus général, on emploie presque exclusivement, à leur bord, des machines à basse pression; mais il y a tendance manifeste chez les constructeurs anglais à élever la pression et à appliquer la détente. Une enquête parlementaire avait été ouverte à l'effet et dans l'intention de limiter la pression à laquelle on pourrait employer la vapeur; mais elle n'a pas eu les résultats que ses promoteurs en attendaient.

En France, les deux systèmes sont à peu près également employés, soit sur mer, soit sur l'eau douce.

En Hollande, l'emploi des machines à haute pression à bord

des bateaux avait été prohibé jusqu'en 1833 ; mais, le 28 septembre de cette année, un arrêté royal l'a autorisé, et aujourd'hui ces dernières machines paraissent y être généralement préférées. (Voir la note n° 6.)

La comparaison des effets de l'emploi de la haute et de la basse pression ne serait nulle part aussi facile à établir ni aussi concluante qu'en France, parce que les deux systèmes y sont à peu près également employés ; mais je n'ai pu trouver aucune statistique bien faite sur cet objet, soit que les renseignements nécessaires n'aient pas été recueillis, soit qu'on ne les ait pas publiés.

Les antagonistes de la haute pression argumentent souvent du grand nombre d'accidents qui arrivent aux bateaux des États-Unis, où les machines de ce genre sont très employées, et de ce que les Anglais préfèrent les machines à basse pression.

Ces deux faits, entièrement indépendants l'un de l'autre, sont facilement explicables ; d'abord, il arrive, aux États-Unis, beaucoup d'accidents aux bateaux à basse pression ; d'après un relevé publié par M. Stéphenson, ingénieur anglais, il y en aurait eu même, dans les bateaux à basse pression, un plus grand nombre que dans les bateaux à haute pression. Si je ne publie pas ce relevé, c'est que j'ignore quel nombre de bateaux de chaque système a donné lieu à ces observations ; ensuite le caractère hardi, souvent téméraire des Américains, et même l'état de la civilisation aux États-Unis, exercent une grande influence sur le nombre de ces accidents.

M. Michel Chevalier dit, en parlant de ce fait, dans ses lettres sur l'Amérique du nord, « que, pour ces habitants, l'essentiel, en fait de Steamboats, est qu'il y en ait beaucoup ; » solides ou non, bien ou mal commandés, peu importe, s'ils vont vite et à bon marché. »

Ce paragraphe est dit spécialement en vue des habitants de l'ouest des États-Unis, contrée où l'usage des machines à haute pression à bord des bateaux est le plus répandu.

La préférence accordée, en Angleterre, aux machines à basse pression, pour la navigation, peut être attribuée :

1°. A ce que, presque tous ces navires devant naviguer sur mer, le tirant d'eau et le tonnage du navire sont presque indifférents ;

2°. Au bon marché de la houille ;

3°. Au plus facile aménagement, à bord, des chaudières à basse pression, et à la régularité de marche de leurs machines.

Les Anglais, eux aussi, construisent des machines à haute pression pour les bateaux destinés à la navigation fluviale. Ainsi les machines des trois bateaux à vapeur naviguant sur le Rhône, qui ont été construites par M. Bury, habile mécanicien anglais, ont 200 chevaux de force et marchent à 5 atmosphères de pression.

Si, à défaut des enseignements de l'expérience, on vient à discuter, en quelque sorte théoriquement, ce que l'on sait des explosions et de leurs causes, on arrive à reconnaître qu'il n'y a pas de motif réel pour défendre l'emploi des machines à haute pression à bord des bateaux.

Parmi les causes des explosions des chaudières, les unes dépendent de leur construction et les autres de leur mise en œuvre. On doit ranger parmi les premières :

1°. L'emploi de mauvais matériaux et de matériaux trop faibles dans la construction des chaudières, ou leur malfaçon ;

2°. L'insuffisance des soupapes de sûreté ;

3°. Les mauvaises dispositions et les formes défectueuses adoptées pour leur construction, notamment lorsque les dégagements de vapeur et l'arrivée d'eau d'alimentation ne sont pas convenablement ménagés dans chaque partie des chaudières, ou que la flamme atteint des parties de métal non recouvertes d'eau. (Voir la note n° 7.)

Les causes d'explosion, dépendantes de la mise en œuvre des chaudières, sont :

4°. La surcharge volontaire ou accidentelle des soupapes ;

5°. L'abaissement de l'eau au-dessous des parties de la chaudière formant sa surface de chauffe ;

6°. La formation de dépôts ou incrustations sur des parties de la chaudière qui sont directement chauffées ;

7°. La détérioration des chaudières par usure, érosion ou brûlure ;

8°. La suppression d'armatures intérieures des chaudières, par suite d'accidents ou de négligence à les remplacer.

Les effets de la 5° cause, l'une de celles qui ont occasionné le plus d'accidents, ont souvent présenté une grande gravité.

L'énumération qui précède, d'accord avec les résultats de l'enquête déjà citée du parlement anglais et avec ce qui est proclamé sur ce sujet en France comme aux États-Unis, montre que les explosions proviennent fréquemment de la négligence et de l'imprudence des agents auxquels le soin et la conduite des machines à vapeur sont confiés.

L'incurie des propriétaires de ces machines peut aussi amener de graves accidents, et réduire souvent, en quelque sorte, la question des explosions des chaudières à une question de temps.

Les essais préalables des chaudières, ordonnés par les règlements en vigueur, présentent une plus grande garantie de sécurité pour les machines à haute pression, que pour celles à basse pression ; ce fait, qui résulte d'une précaution d'ailleurs très-convenable, est plus facile à montrer par un exemple que par une explication.

Soit une chaudière devant marcher à 5 atmosphères de tension dans la chaudière, et une autre seulement à  $4\frac{1}{4}$  atmosphère : la première sera essayée à 12 atmosphères, ce qui équivaut à  $2\frac{3}{5}$  fois la tension de la vapeur qu'elle contiendra, tandis que la seconde subira seulement une épreuve à  $\frac{5}{4}$  atmosphères. Dans la première, la tension absolue de la vapeur devrait, pour dépasser l'épreuve, être portée à 15 atmosphères, être augmentée dans le rapport de 4 à  $2\frac{3}{5}$ , et la différence des pressions serait 8 atmosphères ; tandis que,

dans la seconde, il suffirait que la tension absolue s'élevât de  $1 \frac{1}{4}$  à  $1 \frac{3}{4}$  atmosphère, rapport de 1 à  $1 \frac{3}{4}$ , augmentation de  $\frac{1}{3}$  atmosphère seulement.

Les garanties résultant de l'essai préliminaire contre les explosions provenant de l'emploi de mauvais matériaux ou malfaçon dans la construction des chaudières, de leur usure, ou d'une élévation accidentelle de pression, seraient donc beaucoup plus grandes pour la chaudière devant travailler à 5 atmosphères, que pour celles à  $1 \frac{1}{4}$  ou à basse pression. (Voir la note 8).

Nous avons dit qu'une des causes les plus fréquentes des explosions était l'abaissement de l'eau, dans les chaudières, au-dessous du niveau supérieur des parois chauffées par la flamme; c'est sans doute à cette cause qu'il faut attribuer une circonstance assez singulière: les explosions des bateaux ont souvent lieu lorsqu'ils sont arrêtés ou qu'ils se remettent en marche.

L'alimentation des chaudières, qui est opérée par les machines, s'arrête dès que celles-ci ne marchent plus; mais le feu continuant à brûler, étant même souvent activé pour faciliter la mise en train, la pression s'élève et les soupapes jouent: il y a donc dépense de vapeur et abaissement du niveau de l'eau dans la chaudière. Il peut en résulter qu'une partie de la surface de chauffe directe soit mise à nu, et nous avons déjà dit que cet état de choses présentait les plus grands dangers.

On sait que, dans ce cas, non-seulement la partie de la chaudière qui est directement chauffée, mais encore toute celle qui la surmonte peut rougir. En effet, on a vu, dans de semblables circonstances, des pièces de bois être enflammées par leur seul contact avec les parties supérieures et extérieures des chaudières; mais l'explosion est-elle déterminée par la dilatation de la vapeur formée, par la diminution de résistance des parois rougies, par la formation instantanée d'une grande masse de vapeur, suite du contact brusque de l'eau avec les parois, ou de l'eau et de la vapeur chauffée? Faut-il

recourir à la présence de mélanges de gaz détonnants, ou à un effet d'électricité? Les recherches qui peuvent jeter jour sur ces questions, intéressantes d'ailleurs à plus d'un titre, ne paraissent pas devoir exercer d'influence directe sur la question spéciale qui nous occupe, savoir : la comparaison du danger d'explosion des chaudières à haute ou à basse pression. (Voir la note n° 9).

On a placé sur un grand nombre de bateaux marchant à haute pression, un petit appareil qui remédie au danger signalé ci-dessus : il consiste en une toute petite machine à vapeur, montée sur deux tiges en fer et directement attelée à une pompe foulante qui peut remplacer la pompe alimentaire des chaudières, lorsque la grande machine est arrêtée.

Ce petit appareil, au moyen duquel il est facile en toutes circonstances d'entretenir et même d'élever le niveau de l'eau dans les chaudières, s'installe à peu de frais et sans aucune difficulté, comme auxiliaire, en quelque sorte, des chaudières à haute pression, tandis que celles à basse pression n'en permettent pas l'emploi. Cette amélioration pratiquée depuis plusieurs années déjà, en France, a été appliquée, en Belgique, aux machines d'un des bateaux de la Meuse.

Un autre motif de sécurité plus grande qu'offre l'emploi des chaudières à haute pression, résulte de leur forme même : on donne presque exclusivement aux premières des formes cylindriques, dans lesquelles les parois résistent, non pas à la flexion, mais à la traction longitudinale ou à l'écrasement, de sorte que les déformations y sont fort rares.

Dans les chaudières carrées, comme le sont en général celles des bateaux à basse pression, les parois planes ne résistent aux effets de la pression intérieure que par des armatures, ou par la résistance à la flexion du métal qui les compose. Il arrive alors quelquefois que, par l'effet d'un petit excès de pression dans les chaudières, les parois cèdent un peu et se bombent : le volume de la partie occupée par l'eau augmentant, le niveau de celle-ci baisse beaucoup instantanément, et il

s'ensuit encore que des parties de la surface de chauffe sont mises à nu, d'où peuvent résulter tous les inconvénients cités plus haut.

En résumant tout ce qui précède, je conclus :

1°. Que l'interdiction de l'emploi des machines à haute pression à bord des bateaux, serait une mesure très fâcheuse pour le succès présent et futur de la navigation à vapeur ;

2°. Que les machines à haute pression ne sont pas plus dangereuses à employer que celles à basse pression ;

3°. Qu'un grand nombre d'explosions proviennent de la négligence et de l'imprudence des agents chargés de la conduite des machines ;

4°. Qu'en conséquence, il convient de permettre l'emploi des diverses espèces de machines à vapeur, à bord des bateaux et navires, en prenant les mesures nécessaires pour écarter, autant que possible, les accidents.

Les conclusions précédentes étant posées et admises, il reste encore une question importante à traiter ; c'est celle des réglemens à établir sur la construction et l'emploi des machines et chaudières des différents systèmes appliqués à la navigation.

Une considération cependant prédomine cette question : le gouvernement surveille la navigation à vapeur dans l'intérêt de la sûreté publique, il accomplit en cela un devoir ; mais il doit aussi protéger l'industrie nationale : l'industrie spéciale à laquelle il y aurait peut-être quelques entraves à imposer est, dans plusieurs localités, en lutte de concurrence avec l'industrie étrangère. Ainsi la navigation à vapeur entre la Belgique et l'Angleterre est déjà desservie concurremment par des compagnies belges et anglaises ; il en sera peut-être de même pour les services de la navigation qui s'établiront entre la Belgique, la Hollande et la France.

En cet état de choses, le gouvernement doit certainement éviter tout ce qui viendrait entraver l'industrie nationale au bénéfice des industries étrangères : le règlement à intervenir

doit être conçu dans un autre esprit, selon que les charges en doivent peser seulement sur les bateaux et machines construits en Belgique, ou qu'elles doivent être appliquées aussi bien à la navigation à vapeur étrangère qu'à la navigation nationale.

Quant au droit de police, il appartient à chaque nation sur tout son territoire ; il semble donc que le gouvernement serait parfaitement dans son droit, en exigeant que tout navire ou bateau à vapeur, venant embarquer des passagers dans un port belge, prouvât qu'il satisfait à toutes les conditions de sécurité qui y sont exigées pour qu'un navire à vapeur puisse être employé au transport des passagers.

---

## NOTES.

### N° 1.

On admet généralement que les machines à basse pression sont faciles à entretenir ; cette opinion doit être expliquée.

Ces machines sont d'un entretien facile, en ce sens, qu'elles se dérangent très-peu quand elles sont soigneusement entretenues ; mais le montage et les réparations en sont beaucoup plus difficiles que ceux des machines à haute pression.

C'est pour ces motifs qu'on se sert presque exclusivement des machines sans condensation, et, par conséquent, à haute pression, dans les colonies et dans tous les pays où il n'existe pas de bons ouvriers mécaniciens ni d'ateliers spéciaux.

### N° 2.

L'introduction de l'eau de mer dans les chaudières entraîne des inconvénients, sous le rapport des pertes de chaleur, et d'une plus prompte détérioration des chaudières, par suite de l'action corrosive de ces eaux concentrées.

M. Hall, l'un des mécaniciens les plus distingués de l'Angleterre, a inventé un condenseur qui permet d'alimenter les chaudières de toutes les machines à *condensation* avec de l'eau douce, même quand on ne dispose, comme en mer, que d'eau salée.

Son condenseur est composé d'un grand nombre de tubes, que la vapeur sortant du cylindre traverse intérieurement, et qui sont entourés extérieurement de l'eau froide dont on dispose. La vapeur est condensée sans qu'il y soit fait d'injection d'eau intérieure, et comme elle est reprise, après sa condensation, par la pompe alimentaire des chaudières, il en résulte que celles-ci sont constamment alimentées d'eau distillée.

Pour remplacer, en mer, l'eau perdue par les fuites de vapeur et par les soupapes, M. Hall place dans les chaudières de la machine un petit récipient, ou chaudière fermée, alimenté d'eau extérieure par une pompe spéciale, et communiquant, par sa partie supérieure, avec la capacité du condenseur de la machine; la pression s'abaissant dans celui-ci, l'eau de la petite chaudière entre en ébullition et fournit de la vapeur, qui se condense avec celle ayant agi sur le piston, sans qu'il soit besoin de condenseur ni d'appareil particulier pour faire arriver l'eau, ainsi distillée, dans la chaudière principale.

Les machines de la *British-Queen* sont munies de condenseurs de Hall.

n° 5.

Extrait du journal de l'*Industriel et du Capitaliste*. (Article de M. Burat.)

Quel est le minimum de tôle et d'eau nécessaire pour les chaudières? Ce minimum a été atteint dans les chaudières de M. Edward (voir plus loin), qui contiennent 1500 litres d'eau pour une surface de 25<sup>m</sup><sup>2</sup> et pèsent 5,200 kilog.—Il y a toutes les transitions entre ce chiffre et celui des chaudières carrées de façon anglaise, qui contiennent généralement 700 kilog. d'eau par 1000 kilog. de tôle, et pèsent 250 kilog. par mètre carré de surface de chauffe.

La chaudière de M. Edward se compose d'un foyer circulaire, surmonté d'un faisceau vertical de 55 tubes de 0<sup>m</sup>05 de diamètre; la flamme, après avoir traversé ces tubes, va frapper la surface concave d'une chaudière superposée à la première; elle redescend ensuite pour remonter à la cheminée, en suivant le contour extérieur de cette chaudière; cet appareil a évaporé plus de 8 kilog. d'eau par kilogramme de houille.

Il y a assez souvent une grande différence entre la force nominative des machines à vapeur et leur travail réel; celui-ci varie, en effet, non seulement d'après les dimensions des machines proprement dites, mais encore avec la grandeur et la disposition des chaudières, la nature et la qualité du combustible qu'on y brûle et l'activité imprimée à la combustion.

Dans la pratique, il est rare que deux machines construites par deux mécaniciens différents, pour travailler à la même pression et produire un effet donné, soient de mêmes dimensions.

Assez souvent aussi les constructeurs donnent à leurs machines des dimensions plus grandes que celles nécessaires pour la réalisation exacte du travail demandé.

J'ai déterminé, d'après les méthodes de calcul que j'ai lieu de croire les plus exactes, quels seraient, pour un travail de 50 chevaux effectifs, les diamètres des cylindres, le poids de vapeur dépensé par seconde et les surfaces de chauffe nécessaires, dans :

1°. Une machine à basse pression marchant à une tension de  $1\frac{1}{4}$  atmosphère dans la chaudière ;

2°. Une machine marchant à 5 atmosphères de tension dans la chaudière, condensation et détente au  $\frac{1}{3}$  ;

3°. Une machine marchant à 6 atmosphères, de cinq atmosphères de pression, détente au  $\frac{1}{3}$ , mais sans condensation.

J'ai supposé que les pistons auraient une vitesse uniforme de 1<sup>m</sup>, bien que cette vitesse puisse être beaucoup augmentée pour les deux dernières machines, et par conséquent les diamètres des cylindres réduits.

Je suis arrivé aux chiffres suivants :

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE du CYLINDRE.	POIDS de VAPEUR par seconde.	SURFACE de CHAUFFE en mètres.
Machines à basse pression. . . . .	0 m. 85	0. 32686	67 m. 00
Id. à 5 atmosphères, condensation et détente.	0. 675	0. 43279	51. 30
Id. à 6 id. sans condensation mais détente. . . . .	0. 486	0. 46417	35. 00

Les chiffres de la seconde colonne sont exactement proportionnels aux quantités de combustible nécessaires pour produire un effet donné, et ceux de la dernière colonne indiquent les rapports à peu près exacts du poids des chaudières ;

Ainsi une machine marchant à 6 atmosphères sans condensation, mais à détente, ne brûlerait que la moitié de la houille nécessaire à une machine à basse pression de même force, et sa chaudière serait aussi de moitié moins pesante et moins grande. Une machine marchant à 5 atmosphères, condensation et détente, réaliserait encore une économie de 6 p. % environ sur le poids de combustible nécessaire à la machine à 6 atmosphères.

n° 5.

Voici quelques documents officiels sur les bateaux à vapeur des États-Unis, à la fin de 1858 :

Il y avait un total *certain* de 700 steamers, et on évaluait à 100 nombre de ceux non classés ;

Sur les 700 classés, il y en avait 408 à haute pression, 234 à basse pression et 38 à pression inconnue ;

La force moyenne des machines est de 70 chevaux environ par bateau ; la force totale est évaluée à 57,019 chevaux.

n° 6.

(Note communiquée au dossier par M. Cauchy, membre de la Commission.)

En Hollande, les bateaux à vapeur de l'État ont des machines à basse pression ; j'ignore les véritables motifs qui ont fait adopter ce système.

Les nombreux bateaux à vapeur que la société hollandaise pour la navigation à vapeur, a fait construire, et fait construire dans ce moment, sont, pour la plupart, pourvus d'une machine à haute pression, combinée avec une machine à basse pression, de manière que la vapeur à haute pression (j'ignore le degré de tension) après avoir fonctionné dans le cylindre d'une des machines, se rend dans celui de l'autre pour être ensuite condensée.

Ces deux machines sont placées l'une à côté de l'autre, comme à l'ordinaire ; ou bien, elles se trouvent vis-à-vis l'une de l'autre ;

dans ce dernier cas, qui est le plus commun pour la navigation des rivières, le bateau doit avoir un peu plus de longueur.

Mais la modification la plus importante dans la disposition des machines, c'est la suppression du balancier et des guides de la tige du piston, ainsi que de la bielle ; les cylindres sont placés dans une position inclinée, de manière que la tige du piston est en communication directe avec la manivelle.

J'ai vu une machine de 400 chevaux construite dans ce système, destinée pour la navigation entre Rotterdam et Hambourg. Le cylindre à haute pression et le cylindre à basse pression se trouvaient placés l'un à côté de l'autre. La chaudière à haute pression est composée de onze caisses cylindriques, en communication entre elles par des tubulures, de manière à former un seul ensemble qui présente une grande surface de chauffe.

L'emploi de la vapeur à haute pression de la manière indiquée ci-dessus, produit une économie considérable.

Voici un fait remarquable :

Le gouvernement hollandais, quand il fait usage des bateaux à vapeur appartenant à la société dont j'ai parlé ci-dessus, lui paie les charbons seulement au prix du jour, mais sur le pied d'une machine à basse pression ; la société, par l'économie que lui procure la haute pression, se trouve ainsi payée de tous les frais d'entretien de la machine, machinistes, chauffeurs, etc., ainsi que des intérêts et de l'amortissement de la valeur de la machine.

Les machines, modifiées comme il est dit ci-dessus, ont un poids moindre, occupent moins de place et manœuvrent parfaitement bien.

Le gouvernement hollandais paraît disposé à adopter les cylindres inclinés.

20 mars 1841.

n° 7.

L'expérience a conduit à faire les observations suivantes sur la forme des chaudières :

Il faut éviter de faire traverser à la flamme des carneaux cylindriques d'un grand diamètre : ils sont sujets à s'écraser, ce qui, s'ils ne crèvent pas en même temps, occasionne un abaissement

considérable du niveau de l'eau, et devient ainsi une cause indirecte d'explosion; les parois des carneaux intérieurs cylindriques doivent être beaucoup plus épaisses que celles du corps de chaudière, soumis intérieurement à la même pression et ayant les mêmes dimensions; dans les premières, en effet, le métal résiste par la seule rigidité; dans les secondes la pression tend à le rompre par traction longitudinale.

Il faut que les parois chauffées soient recouvertes d'une hauteur d'eau suffisante, pour qu'en aucun cas elles n'en soient découvertes.

Dans les chaudières à compartiments et bouilleurs, il est très-essentiel de ménager, à chacun d'eux, des dégagements spéciaux à la vapeur qui s'y forme et des retours d'eau d'alimentation.

Enfin les chaudières, dans lesquelles certaines parties plus faibles par construction peuvent faire explosion ou se déchirer, sans entraîner une explosion générale ou occasionner d'accidents sérieux, paraissent être celles qui offrent le plus de garantie contre les dangers des explosions.

Certaines chaudières à tubes, entre autres celles des machines locomotives, sont ainsi disposées.

n° 8.

En prenant l'exemple cité de deux chaudières travaillant, l'une à une tension absolue de 5 atmosphères et essayée à 15 atmosphères, l'autre travaillant à  $1\frac{1}{4}$  et essayée à  $1\frac{3}{4}$  atmosphères, en supposant que les réservoirs de vapeur de ces deux chaudières soient de même capacité, puis que le poids de vapeur produit dans chacune d'elles soient égaux dans des temps égaux, ce qui revient à supposer qu'elles seraient échauffées par des foyers produisant le même effet; en supposant enfin que toute issue soit fermée, dans l'une et dans l'autre, au dégagement de la vapeur, on trouve, par le calcul, que, si le temps nécessaire pour que la vapeur soit portée de  $1\frac{1}{4}$  à  $1\frac{3}{4}$  atmosphères dans la seconde de ces chaudières, est égal à 1, il faudrait un temps presque égal à 16 pour que la tension soit portée de 5 à 15 atmosphères dans la première. Ces chiffres indiqueraient des rapports exacts, si la température de la vapeur restait la même aux différentes pressions.

L'avantage est aussi en faveur des chaudières à haute pression,

quand on recherche ce qui arrive lorsque des chaudières n'offrent que des orifices d'écoulement insuffisants au dégagement de toute la vapeur, formée à la pression normale de chaque chaudière.

N° 9.

Les formes des chaudières et la répartition de l'eau dans celles-ci, varient tellement, qu'il serait probablement de toute impossibilité de soumettre le cas d'une chaudière, incomplètement remplie d'eau et chauffée, à un calcul qui puisse s'appliquer généralement.

Ce calcul appliqué, même à des cas particuliers, ne peut se continuer qu'à l'aide d'un si grand nombre d'hypothèses, que ses résultats n'offrent que des limites, sans qu'il y ait de moyen de connaître de combien on en approche dans la pratique.

Je présenterai seulement quelques réflexions sur les phénomènes qui se passent dans les circonstances citées plus haut.

Lorsque de la vapeur est chauffée, elle se dilate comme un gaz ; lorsqu'elle occupe un espace fermé, sa pression augmente dans une proportion plus élevée que si la quantité de calorique y ajoutée, avait été employée à former un nouveau volume de vapeur saturée qui se serait joint au premier ; nous avons déjà vu que la vapeur, de même que le gaz, peut servir, en quelque sorte, de véhicule à la chaleur.

Quand, dans une chaudière, une partie de la surface de chauffe est mise à nu, il arrive bientôt que toute la partie supérieure des parois est amenée au même état ; la partie supérieure de la capacité intérieure de la chaudière est occupée, dans ce cas, par de la vapeur dilatée et les soupapes jouent ; mais alors la dépense en poids de la vapeur diminue à mesure que la température s'élève. En effet, la pression est limitée par la charge des soupapes, et les ouvertures de celles-ci restent toujours suffisantes pour que cette pression n'augmente pas sensiblement. Le poids de vapeur dépensé est en fonction directe de la surface de l'orifice d'écoulement et de la densité de la vapeur écoulee. S'il s'échappe de la vapeur dilatée, la vitesse et la densité changent ; la vitesse augmente dans le rapport inverse de la racine carrée de l'augmentation de densité, c'est-à-dire qu'elle augmente quand la densité diminue. Le poids de vapeur écoulee diminue, en dernière analyse, en fonction de la racine carrée de la diminution de densité de la vapeur.

La quantité du calorique écoulé, en quelque sorte, avec la vapeur, diminue aussi.

Les lois du mélange de gaz différents ne sont pas applicables à la vapeur saturée qui se forme dans la chaudière et à celle dilatée qui en occupe le haut; nous voyons constamment, dans un cas analogue, que l'air échauffé dans les appartements se sépare de l'air froid plus dense, et occupe le haut de ceux-ci.

On conçoit donc qu'une partie de la chaudière rougisse, que le haut de celle-ci s'emplisse de vapeur chauffée à une haute température, et que, malgré l'écoulement d'une partie de cette vapeur, il y ait, en quelque sorte, accumulation de calorique dans la chaudière.

Mais comment ce calorique est-il réparti lorsque, le niveau de l'eau s'élevant par son seul bouillonnement ou par une alimentation extérieure, elle atteint les parois rougies? Se forme-t-il subitement de la vapeur saturée ou dilatée en quantité suffisante pour produire l'explosion, soit par un espèce de choc, soit par l'augmentation de pression? Y a-t-il un effet dynamique par suite du choc de l'eau qui serait projetée par cette formation presque instantanée de vapeur? Le refroidissement brusque de la paroi rougie peut-il seul y occasionner une déchirure? C'est ce qu'il est bien difficile, sinon impossible, de savoir avec certitude. Il est probable que chacun de ces effets prédomine dans certains cas.

J'ai calculé que, pour une chaudière cylindrique ordinaire, marchant à 2 atmosphères et ayant 1<sup>m</sup> de diamètre sur 6 mètres de longueur totale, la moitié de la surface totale étant disposée en surface de chauffe, un abaissement de 0<sup>m</sup> 15 au-dessous de l'axe de la chaudière pourrait déterminer les effets suivants :

Si la partie de la surface de chauffe découverte d'eau rougit seule (et est portée à 700°), il s'accumulerait, en quelque sorte, 2481 calories disponibles qui, employées *instantanément* à produire de la vapeur saturée qui viendrait se joindre à celle préexistante, détermineraient une pression de 4,28 atmosphères dans la chaudière; si la vapeur formée n'était pas saturée, mais dilatée, la pression serait plus forte encore;

Mais si toute la partie supérieure de la chaudière était portée seulement à 400°, il s'y accumulerait de même 26402 calories disponibles, dans des circonstances où 2480 peuvent produire une pression de plus de 4 atmosphères.

Les effets susdits auraient lieu dans l'hypothèse d'un transport instantané du calorique excédant de la tôle échauffée et de la vapeur dilatée sur l'eau de la chaudière, *ce qui ne peut jamais avoir lieu complètement.*

La chaudière résisterait à froid à un excès de pression intérieure de 10,5 atmosphères ; au rouge, sa résistance serait diminuée environ des  $\frac{5}{6}$ .

M. Jobard a récemment donné une nouvelle explication des explosions ; il admet que l'air est introduit dans les chaudières, notamment par des dérangements des pompes alimentaires ; qu'en même temps, l'eau est décomposée par son contact avec des parois rougies ; qu'il se forme un mélange détonant, qui, ensuite, peut être allumé par une étincelle électrique ou par l'influence d'une flamme extérieure.

Il est possible que, dans des cas très rares, ces causes aient produit des explosions ; cette explication semble même la seule qui puisse être adoptée pour certaines explosions qui ont eu lieu, tandis que les foyers des chaudières étaient éteints et celles-ci refroidies ; mais des cas analogues me semblent devoir se présenter tout-à-fait exceptionnellement pendant le travail des machines et des chaudières : en effet, le fer rouge ne décomposerait pas la vapeur en présence de l'air ; l'hydrogène formé, ainsi que l'air, ne resteraient pas dans les chaudières ; le mélange détonant resterait mélangé à une telle masse de vapeur, que rarement il pourrait produire des effets désastreux ; enfin je n'ai jamais entendu parler de détonations partielles arrivées dans l'intérieur des chaudières et non accompagnées ou suivies d'accidents, comme certes il devrait s'en produire, par des détonations insuffisantes pour opérer l'explosion ou le déchirement des chaudières, si l'explication de M. Jobard était exacte.

Cette explication ne peut d'ailleurs rendre compte des explosions des chaudières en cuivre, qui cependant ne sont pas du tout à l'abri de ces accidents.