Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 46 (1920)
Heft: 5

Artikel: Le système Taylor et quelques considérations sur son application
Autor: Vallière, R. de
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35755

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

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

46me année 6 Mars 1920 N° 5

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing. Paraissant tous les 15 jours.

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Le système Taylor et quelques considérations sur son application*, par M. R. de Vallière, ingénieur (suite). — *Calcul du coup de bélier dans les conduites formées de deux ou de trois tronçons de diamètres différents*, par Ed. Carey, ingénieur, à Marseille (suite). — *Concours d'idées pour la construction de nouvelles maisons ouvrières au « Pré d'Ouchy »* (suite et fin). — *Nécrologie :* Le colonel Charles Dapples. — *Bibliographie :* Schlussbericht über den internationalen Wettbewerb für einen Bebauungsplan der Stadt Zurich. — *Carnet des concours.*

Le système Taylor et quelques considérations sur son application

par M. R. de Vallière, ingénieur [1].

(Suite.) [1]

Le bureau de fabrication.

Les réformes que nous avons décrites jusqu'à maintenant :

classement et normalisation du produit à fabriquer ;
classement et normalisation des matières, des outils ;
établissement du prix de revient exact,

sont des réformes auxiliaires, préparatoires, mais indispensables au fonctionnement normal des services que nous allons maintenant décrire.

Pour pouvoir fabriquer rationnellement une machine quelconque, il ne suffit pas de la dessiner, puis de coter les dessins de telle sorte que l'assemblage soit possible, et que la machine remplisse les fonctions à laquelle elle est destinée.

Il faut étudier chaque pièce non seulement au point de vue de ses futures fonctions dans la machine dont elle est partie intégrante, mais également au point de vue de sa fabrication. Il faudrait donc rationnellement que chaque constructeur soit en même temps homme d'atelier, parfaitement au courant des particularités et de la capacité de toutes les machines-outils de l'usine, et capable de déterminer la suite normale d'opérations d'usinage que devra subir chaque pièce qu'il construit. Plusieurs méthodes différentes d'usinage étant généralement possibles, il devrait être capable de choisir celle qui sera la plus économique tout en assurant l'exactitude nécessaire.

En outre, il faudrait qu'il sache construire les appareils d'usinage éventuellement nécessaires et les outils spéciaux.

De tels experts sont rares ! Ne pouvant les trouver, Taylor avec son énergie et sa persévérance habituelles, les forme. Il les recrute de préférence à l'atelier parmi les vieux contremaîtres les plus capables ; il leur adjoint comme élèves de jeunes techniciens éveillés et pratiques ; ce groupe formé, il l'intercale entre le bureau de construction et l'atelier. Il sera désormais chargé de la préparation de la fabrication.

[1] Voir *Bulletin technique* N° du 21 février 1920, p. 41.

Il établira pour chaque pièce à fabriquer la liste des opérations, les types de machines qui feront ces opérations, les outils à employer.

La liste d'opérations établie pour chaque pièce, il s'agit maintenant d'établir le temps d'usinage nécessaire pour chaque opération et d'en déduire les prix d'accord.

Ces renseignements seront fournis par un deuxième service, *le service des études chronométriques*, travaillant en collaboration étroite avec le précédent et dont nous parlerons plus loin plus en détail.

Le résultat de son activité est une feuille d'instruction pour chaque opération, qui prescrira rigoureusement à l'ouvrier la marche à suivre, les vitesses et avances à employer, la production moyenne à atteindre, et lui indiquera le prix par pièce.

Les documents ainsi préparés pour chaque commande sont ensuite remis à un « faiseur de bulletins » simple manœuvre d'écritures.

C'est pour lui l'ordre d'établir pour chaque genre de pièce un bon de matière, puis, pour chaque opération à chaque pièce :

un bon de travail,
un bon de contrôle,
un bon de transport.

Tous ces bons sont ensuite classés par pièce et remis au service de *répartition du travail* dont nous allons parler.

La commande est maintenant complètement préparée ; il s'agit ensuite de répartir aux machines les divers travaux d'usinage qu'elle va occasionner. Cette répartition est un des points qui laissent le plus à désirer dans la plupart des usines.

Il est même difficile de reconnaître une méthode quelconque dans beaucoup d'entre elles.

Et pourtant, de lancer des pièces en fabrication sans itinéraire, ni horaire, semble aussi peu logique que de vouloir lancer une foule de trains sur un réseau ferré, sans prescrire la route à suivre et les vitesses à observer. Ou de lâcher les unités d'une armée et ses colonnes de ravitaillement au travers d'une contrée en leur fixant un vague rendez-vous de l'autre côté et comme seule instruction aux officiers et sous-officiers l'ordre de se débrouiller.

Il en réuslte d'ailleurs, toutes proportions gardées, un état de choses tout aussi désastreux.

Les collisions sont fréquentes et les fausses manœuvres ; et, à moins d'interventions constantes, de va-et-vient innombrables, d'exhortations, de menaces même, la plupart du temps, les pièces qui devraient être prêtes les premières, et qui sont généralement les plus complexes, gisent dans un oubli voulu, tandis que des pièces insignifiantes, nécessaires seulement en fin de montage, triomphent de tous les obstacles et sortent en tête.

Avant de songer à répartir aux machines une nouvelle commande, il faut une fois pour toutes être d'abord au clair au sujet de toutes les commandes en cours d'exécution.

Il faut donc faire l'inventaire en premier lieu : des opérations en cours d'exécution,

en deuxième lieu : des opérations encore à exécuter.

Chaque travail d'usinage étant représenté, comme nous l'avons vu par un bon de travail, cet inventaire permet tout d'abord d'établir une répartition logique et ordonnée pour les commandes déjà en cours. Ceci fait, puisque chaque bon de travail indique le nombre de pièces devant subir l'opération et le temps qu'il faut par pièce, il est possible de reconnaître à quel moment chaque machine sera normalement disponible pour de nouveaux travaux.

Nous voilà en mesure de répartir les nouvelles commandes en partant d'une base solide.

Pour faciliter les travaux que nous venons d'exposer, Taylor crée ce que nous appellerons le « calendrier de fabrication » ou le tableau de répartition.

C'est un ensemble de cases ou pochettes, de dimensions suffisantes pour recevoir les bons de travail, de contrôle, de transport, etc...

Il y a 1 pochette par machine.

Chaque pochette porte le numéro de la machine qu'elle représente. Les machines sont rangées par type, sont classées par capacités d'usinage.

Dans chacune de ces pochettes on met tout d'abord le bon de travail correspondant au travail en cours; derrière celui-ci on range les bons des travaux répartis à la machine et qu'elle devra entreprendre successivement.

Lorsque, pour cause de réparations, ou de manque de main-d'œuvre ou d'outils ou de matière, une machine est arrêtée, on met dans la pochette de la machine, devant les bons de travail, une carte spéciale dont la couleur indique la cause de l'arrêt.

Un tel calendrier de fabrication est donc un tableau fidèle de l'état d'occupation de l'atelier, permettant de juger très rapidement si cet état est normal, s'il y a surcharge ou s'il y a pénurie de travail. Il rend possible la fixation de délais précis pour chaque commande.

Il permet au chef d'atelier de prendre journellement les mesures nécessaires à la marche vraiment ordonnée de la fabrication.

En un mot, il rend au chef d'un grand atelier cette vue d'ensemble qu'a le chef d'un petit atelier et résout ainsi un des problèmes les plus délicats de la fabrication.

Tous les travaux qu'occasionnera une commande une fois répartis aux machines qui les feront, il s'agit maintenant de prendre toutes les dispositions pour qu'ils puissent être entrepris immédiatement, aussitôt que leur tour viendra,

A cet effet, la répartition envoie les feuilles d'instructions au magasin d'outillage.

Elles permettent à celui-ci de préparer tous les outils spécifiés.

Il les réunit pour chaque opération séparément dans une caissette et y joint la feuille d'instructions. Ces caissettes vont ensuite aux machines concernées.

D'autre part, la répartition envoie le bon de matière au magasin de matières ; c'est pour celui-ci l'ordre de préparer la matière et de l'envoyer à la machine chargée de la première opération.

Les dessins sont retirés de la distribution des dessins et déposés en attendant au bureau de fabrication.

Tout est maintenant prêt pour commencer le travail.

Chaque fois qu'un ouvrier a terminé un travail, il se présente au bureau de fabrication, guichet de la répartition.

La répartition commence par inscrire sur le bon de travail terminé la date et l'heure. Il fait la même inscription sur le bon du travail à commencer et remet à l'ouvrier le dessin des pièces à faire.

Le bon du travail terminé va ensuite à l'employé chargé de suivre l'état d'avancement des commandes.

Il tient à cet effet des formulaires d'état d'avancement. Ce sont des listes des pièces à faire pour chaque commande ; en regard de chaque pièce, on inscrit, au fur et à mesure de la rentrée des bons des travaux terminés, la date de terminaison de chaque opération.

Un coup d'œil sur la feuille d'avancement permet donc de reconnaître où en est l'usinage de chaque pièce.

De l'état d'avancement, les bons de travail vont au service de la paie, où leurs données sont inscrites sur les feuilles de production et paie de chaque ouvrier, ainsi que les sommes dues. Les retenues éventuelles se font sur la base des rapports du contrôle.

Du service de répartition partent également les ordres pour l'inspection des travaux terminès, et pour le transport des pièces d'une opération à la suivante.

Ce serait trop long d'entrer dans les détails d'exécution de ces ordres.

Taylor groupe les services que nous venons de décrire soit :

le service de préparation des commandes,
le service d'études chronométriques,
le service d'état d'avancement,
le service de paie

en un même bureau, situé autant que possible au centre de l'atelier.

C'est ce qu'il appelle le *planning department*, ce que nous traduirons par : bureau de mise en fabrication ou bureau de fabrication tout court.

Il y joint le « service des matières » dont nous avons annoncé la création en parlant des magasins.

L'employé qui en est chargé tient à jour l'inventaire permanent ou cartothèque des matières et fournitures.

Il est notifié de toutes les rentrées de matière par les avis de réception, de toutes les sorties, par le passage des bons de matières à leur retour du magasin, après distribution faite.

C'est à ce service qu'incombe de renouveler en temps utile les stocks de matières normales par des demandes d'achats adressées au bureau d'achat ; de s'assurer pour chaque commande en préparation que la matière nécessaire est en stock, sinon, de la commander à temps.

Il s'assure par des sondages périodiques que les stocks réels sont bien ceux qu'indique son inventaire.

Il contrôle ou fait contrôler la qualité des arrivages.

Il est clair que le planning department ou bureau de fabrication devient le cerveau de l'atelier, « la centrale » où se concentrent tous les renseignements et d'où partent tous les ordres.

Son activité une fois normale, l'administration de l'atelier devient une chose relativement simple pour laquelle il n'est plus nécessaire d'avoir un « surhomme ». Rien n'est plus laissé au hasard ou au plus ou moins d'initiative des sous-ordres.

Tranquillisé par cet inventaire permanent des travaux en cours et des travaux restant à faire, le chef d'atelier peut consacrer la majorité de son temps à l'étude de nouvelles fabrications, aux essais, aux perfectionnements et à tout ce qui « ne va pas ».

Il a enfin le temps de se tenir au courant de ce que fait la concurrence, par la lecture des journaux techniques ; en un mot d'être en tête du progrès au lieu d'être absorbé par une routine.

La question qui se pose immédiatement est la suivante : *Quelle sera désormais l'activité des contremaîtres et des chefs d'équipes* ?

L'ouvrier recevant ses ordres directement d'un bureau central, et tout le travail étant préparé par celui-ci, le contremaître n'a plus aucun travail d'écritures ni de préparatifs à faire lui-même.

Il va nécessairement se sentir diminué. Taylor tourne la difficulté en rompant avec l'ancienne conception de l'activité des contremaîtres, et en faisant de chacun d'eux un « spécialiste », choisi d'après ses aptitudes les plus marquées.

Il reconnaît tout d'abord, que pour faire un contremaître ancien style vraiment à la hauteur de sa tâche, il faut un ensemble de qualités rarement données à un seul homme.

Taylor énumère les qualités requises ; de son énumération résulte en somme que le contremaître doit être outre un spécialiste des choses d'atelier, un bon administrateur, un fin diplomate, un homme intègre.

De tels oiseaux bleus sont difficiles à trouver ! Et quand on les trouve, ils ne restent pas longtemps contremaîtres, il y a trop à faire pour eux plus haut dans la hiérarchie de l'usine.

Taylor subdivise donc les fonctions du contremaître. Le diplomate plein de tact, l'homme d'autorité calme et impartiale sera le surveillant général, le *disciplinarian* comme il l'appelle. Il jugera les conflits qui surgissent, maintiendra la discipline, sera responsable de l'ordre et de la propreté de l'atelier.

Il engagera les nouveaux ouvriers, suivra leur rendement et leur conduite, augmentera la paie des capables, renverra les inutilisables. L'homme débrouillard, actif, ayant une bonne mémoire et de l'ordre, surveillera que les préparatifs ordonnés par le bureau de fabrication se fassent en temps utile et conformément aux instructions. Il sera le « contremaître de préparation » et surveillant du magasin d'outillage.

L'homme non seulement très habile ouvrier, mais sachant instruire les autres (ce qui ne va pas nécessairement toujours ensemble) interprétera pour l'ouvrier la carte d'instruction, l'instruira et veillera à ce qu'il arrive à la production fixée.

L'homme méticuleux, connaissant bien toutes les pièces de la fabrication courante, sachant lire exactement un dessin, et mesurer avec précision, sera chef des contrôles.

Enfin Taylor charge un bon mécanicien habitué au maniement et à la réparation de tous les types de machines, de l'inspection systématique et alternée de celles-ci. Il décide des machines à reviser, instruit l'ouvrier sur les soins à apporter à sa machine, etc....

Voilà maintenant l'ouvrier non plus sous les ordres d'un seul chef, mais de plusieurs. L'un lui prépare son travail, le deuxième l'instruit sur la manière de le faire, le troisième lui indique s'il est exact, le quatrième surveille que sa machine soit toujours en état, le cinquième prend soin qu'il soit traité avec justice.

Les conflits de compétence ne sont pas à craindre puisque chacun a ses fonctions bien délimitées. L'ouvrier n'est plus à la merci d'un seul homme omnipotent, mais entouré de cinq *collaborateurs*.

Il ne peut que se trouver bien du nouvel état de choses.

Service des études chronométriques.

Il nous reste maintenant à voir plus en détail le service des études chronométriques, dont nous avons déjà dit quelques mots.

Nous abordons ici le point le plus délicat du système entier, parce qu'il touche à l'activité de l'ouvrier même.

Toutes les réformes que nous avons décrites jusqu'ici ont entre autres pour résultat d'éviter à l'ouvrier toutes pertes de temps, en préparant complètement son travail ; le service d'études chronométriques, va maintenant le guider dans l'exécution de ce travail et lui prescrire la tâche à accomplir.

Si nous décrivons cette réforme en dernier, c'est que c'est là sa place logique dans une réorganisation Taylor. C'est la dernière à tenter et il ne faut l'aborder que lorsque toutes les autres sont faites ou du moins déjà en bonne voie.

Avant Taylor déjà, il était d'usage dans beaucoup

d'usines de déterminer en le chronométrant le temps nécessaire à une opération d'usinage. Mais l'idée nouvelle est de décomposer l'opération en ses mouvements élémentaires, chronométrés séparément. La durée totale de l'opération est alors la somme des temps élémentaires correspondant aux mouvements élémentaires.

Pour fixer les idées prenons une opération quelconque, supposons, par exemple, une série de pièces à percer dans un appareil de perçage.

La méthode généralement en usage pour déterminer la production par heure de ces pièces, donc le prix, sera de déterminer par chronométrage le temps nécessaire pour usiner un certain nombre de pièces et d'en déduire la production par heure puis par jour en accordant suivant le genre de travail, un certain temps d'affûtage et un certain temps de repos.

La production déterminée de cette manière dépend naturellement de l'ouvrier qu'on observe.

Et à moins d'une très grande expérience chez le chronométreur, il ne lui est guère possible de se rendre compte si l'ouvrier donne son plein ou bien s'il ralentit exprès son travail. En outre, le temps d'observation est trop court pour déterminer si en changeant, par exemple, la disposition des outils ou des pièces ou la position de l'ouvrier, on ne pourrait pas augmenter la production.

C'est pourquoi Taylor distingue trois phases :

La première est la décomposition du travail en mouvements élémentaires. La deuxième l'analyse de chacun de ces mouvements en vue de le simplifier en diminuant son amplitude, ce qui diminue la fatigue qu'il occasionne ; ou éventuellement en vue de supprimer complètement certains mouvements.

En même temps, l'observateur, qui « doit » naturellement être un expert en questions d'usinage, examine si les outils sont ce qu'ils doivent être ou si l'on peut les perfectionner en changeant leur disposition, leur forme ou leur affûtage.

Dans la troisième phase, l'observateur détermine les temps élémentaires de l'opération ainsi perfectionnée. Il se base naturellement sur une longue série d'observations afin d'obtenir des données sûres.

La somme des temps élémentaires minima donne le temps total « minimum » pour l'opération.

Une telle analyse peut paraître superflue au vieux praticien, mais l'expérience de Taylor a démontré deux faits très importants :

Premièrement, qu'un observateur expérimenté peut juger beaucoup mieux que l'ouvrier faisant le travail, quels mouvements sont inutiles ou d'amplitude exagérée.

Deuxièmement, qu'un très grand nombre de mouvements élémentaires se répètent dans les opérations de même ordre.

Il en résulte qu'avec une série suffisamment étendue d'observations de temps élémentaires, groupés systématiquement sous forme d'abaques et de tableaux, on arrive parfaitement à déterminer d'avance avec précision le temps nécessaire à n'importe quelle opération d'usinage à faire subir à une pièce quelconque.

D'autre part, la minutie de l'analyse interdit à l'ouvrier toute fraude ou ralentissement de son travail.

Il est clair que la somme des temps élémentaires chronométrés, ne peut servir sans autre comme base pour la détermination des prix d'accord.

L'étude chronométrique étant faite sous des conditions idéales, avec une machine et des outils parfaitement au point, donne, comme nous l'avons vu, le « temps minimum d'usinage », ou inversément, la « tâche » ainsi déterminée est la « tâche maximale ».

Il faut ajouter nécessairement au temps minimal, un certain pourcent qui tiendra compte des arrêts inévitables, même dans un travail parfaitement préparé, ainsi que de la fatigue graduelle de l'ouvrier, fatigue qui variera suivant la nature du travail.

On comprend que la détermination de ces pourcents correctifs est aussi importante et délicate que la détermination du temps minimum et que cela ne peut se faire que sur la base d'un grand nombre d'observations.

L' « étude de la fatigue » a fait le sujet d'ouvrages importants, établissant des lois précises.

La tâche maximale corrigée au moyen du pourcent de correction devient la tâche normale et le prix correspondant le prix normal, si cette tâche est exactement déterminée c'est celle que pourra faire un ouvrier moyen sans *qu'il en résulte le moindre préjudice pour sa santé.*

Il faut insister particulièrement sur ce point. L'étude chronométrique révèle généralement que la tâche normale est *plus élevée* que la moyenne atteinte auparavant.

Mais cette augmentation n'est « pas » obtenue en demandant à l'ouvrier de travailler *davantage*, mais de travailler *autrement*, en suivant une marche et des mouvements étudiés en vue du bon rendement.

Ce rendement supérieur est donc obtenu par une économie d'effort par unité de temps et non pas par un effort augmenté.

C'est en « cela » que la méthode scientifique d'études du travail se distingue des systèmes trop longtemps en vigueur, où l'ouvrier était en somme pressuré, où l'on prétendait augmenter sa production en baissant périodiquement les prix, ce qui le forçait à produire plus pour pouvoir gagner le même salaire, méthodes barbares et justifiant toutes les résistances.

Pour encourager les ouvriers à atteindre ou à dépasser la tâche normale, et donner l'occasion aux plus capables de gagner davantage que la moyenne, Taylor institue un tarif différentiel aux pièces ; l'ouvrier qui atteint la tâche normale obtient un prix par pièce plus élevé que celui qui ne l'atteint pas.

Mais le prix minimal ne *descend jamais en dessous des tarifs en vigueur auparavant* ; en résumé, on voit que de l'activité systématique du service d'études chronométriques, résultent finalement des *normes de rendement de l'heure de travail,* non plus empiriques mais scientifiquement établies, et constituant donc une

base absolument impartiale pour la détermination des prix.

Généralement l'ouvrier, méfiant d'abord, ne tarde pas à reconnaître l'avantage pour lui de ces bases impartiales.

En outre, le fait que désormais il est récompensé spécialement s'il atteint une tâche déterminée, tâche juste et dont l'accomplissement ne l'épuisera pas, est un stimulant puissant.

Puis l'exactitude de l'étude du prix exclut la nécessité de le réviser ensuite, de « couper les prix » comme disent les Anglais.

L'ouvrier sait qu'il peut donner son plein sans risques pour lui et ses camarades.

Avant et pendant la guerre, on a usé et abusé du système de primes à la production, l'appliquant à tort et à travers sans étudier d'abord à fond la tâche demandée.

Dans certains ateliers, l'ouvrier faisait un labeur presque surhumain, certainement préjudiciable à sa santé, sur des machines mal adaptées au travail, mal équipées, dans des conditions sanitaires exécrables.

Répétons-le, il ne faut pas confondre ces méthodes-là avec le système Taylor. *(A suivre.)*

Calcul du coup de bélier

dans les conduites formées de deux ou de trois tronçons de diamètres différents

par Ed. Carey, ingénieur à Marseille.

(Suite.) [1]

6. Intensité du coup de bélier au point de jonction des deux tronçons.

Dans le cas d'une conduite formée de deux tronçons tels que $\frac{2l'}{a'} = \frac{2l''}{a''}$, M. de Sparre a donné pour la valeur H du coup de bélier transmis à la jonction des deux tronçons au temps $n + \frac{\theta'}{2}$ sec., en considérant, au vannage, les coups de bélier en fin de période n :

$$(41)\quad H_{n+\frac{\theta'}{2}} = \frac{a'}{2g}(v'_{n+1} - v'_n) + \frac{1}{2}(B_n + B_{n+1}) - \frac{a'}{4g\gamma_0}(B_n v'_n - B_{n+1} v'_{n+1})$$

en désignant par v' la vitesse dans le tronçon inférieur et B la valeur du coup de bélier au vannage à l'instant des vitesses v', soit aux temps $t_{n+\theta'}$ et t_n.

Si, en particulier, on cherche la transmission du coup de bélier après la fermeture totale, on aura :

$$v'_n = v'_{n+1} = 0$$

et :

$$(42)\quad H_{n+\frac{\theta'}{2}} = \frac{1}{2}(B_n + B_{n+1})$$

Pour une fermeture complète en un temps $\leqq \theta'$ sec., $\left(\frac{2l'}{a'}\right)$, la valeur du coup de bélier à la jonction est donnée par :

$$(43)\quad H_{n+\frac{\theta'}{2}} = (-1)^{n-1}\frac{a'v'_0}{g}\,\mathrm{tg}\,\frac{\beta}{2}\,\sin n\beta$$

en posant : $\cos\beta = \mu$.

Il résulte de ces formules que la transmission du coup de bélier de fermeture effectuée en un temps $\leqq$ à $\frac{4l'}{a'}$ n'est plus régulièrement linéaire comme dans les conduites à caractéristique unique, mais que $\frac{1}{2}(B_n + B_{n+1})$ peut être plus grand que $\frac{B_n l''}{L}$ ou que $\frac{B_{n+1} l''}{L}$.

En particulier, dans l'exemple de la figure 4 on a pour $H_{14+\frac{\theta'}{2}}$:

$$H_{14+\frac{\theta'}{2}} = \frac{1}{2}(114{,}4 + 72{,}8) = 93^{m},60$$

alors que la transmission linéaire du coup de bélier maximum de fermeture en $2\theta'$ sec. donne à la jonction :

$$B_j = \frac{170 \times 534}{1200} = 77^{m},40$$

L'effort réel en ce point dépasse donc de 20 % celui de la transmission linéaire.

Par contre, dans le cas de fermeture en $\frac{2l'}{a'}$ sec., le coup de bélier à la jonction est diminué par suite du changement des diamètres. En effet, dans une conduite de diamètre constant d', le coup de bélier $\frac{a'v'_0}{g}$ transmis intégralement jusqu'au milieu et de là linéairement jusqu'au point correspondant à la jonction, serait en cet endroit :

$$B_j = \frac{a'v'_0}{g} \times \frac{2l''}{L}$$

tandis qu'il est en réalité donnée par la formule (43).

Dans l'exemple de la figure 2, si la conduite était, sur toute sa longueur, de diamètre $d' = 0{,}50$ et d'épaisseur constante, le coup de bélier serait à l'endroit de la jonction :

$$B_j = \frac{1220 \times 1{,}08}{9{,}8} \cdot \frac{2 \times 534}{1200} = 120^{m}$$

mais il sera en réalité : avec $d' = 0{,}50$ et $d'' = 0{,}60$, et $\cos\beta = 0{,}284$:

$$H = 134{,}50 \times 0{,}747 \times 0{,}999 = 100^{m},45$$

pour $n = 11$. Il est donc près de 20 % plus faible.

On pourra admettre la transmission linéaire de cet effort entre le vannage ($134^{m},50$) et la jonction ($100^{m},45$) et entre cette dernière et la chambre de mise en charge où le coup de bélier devient nul.

[1] Voir *Bulletin technique* N° du 24 janvier 1920, p. 21.