Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 44 (1918)
Heft: 25

Artikel: Notes sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression
Autor: Carey, Ed.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-34066

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: 05.01.2026

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

44me année 14 Décembre 1918 N° 25

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing.
2, Valentin, Lausanne

Paraissant tous les 15 jours

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

SOMMAIRE : *Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression*, par Ed. Carey, ingénieur à Marseille (suite). — *Note sur un nouveau régulateur à action indirecte et à indication mixte*, par L. Barbillion, directeur de l'Institut polytechnique de l'Université de Grenoble, et P. Cayère, ingénieur des Arts et Métiers et de l'Institut de Grenoble. — *Le Château de Chardonne*, restauré dès 1910 par l'architecte H. Collombet (planches 11 et 12). — *Nécrologie :* Casimir de Rham, ingénieur. — A nos lecteurs. — *Bibliographie*. — Service de placement de la Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — *Carnet des concours*.

Note sur le calcul du coup de bélier dans les conduites sous pression

par Ed. Carey, ingénieur à Marseille.

(*Suite* [1])

Formules de M. de Sparre.

En 1905, M. de Sparre a apporté une simplification fort intéressante à l'équation d'Alliévi (*La Houille Blanche*, juillet 1905). Admettant que le coup de bélier B est en général faible par rapport à la charge statique y_0, il remplace $\sqrt{1+\frac{B}{y_0}}$ par $1+\frac{B}{2y_0}$. Pour les coups de bélier positifs, cette approximation est satisfaisante jusqu'à $B = y_0$ et pour les coups de bélier négatifs, il suffit que B soit $< \frac{y_0}{2}$ pour que l'approximation soit bonne.

En 1910, M. *Vaucher* a du reste publié dans le *Bulletin technique* (nos 13 à 20), une étude sur le calcul du coup de bélier en adoptant l'approximation indiquée en 1905 par M. de Sparre.

En admettant que le coup de bélier positif soit au plus égal à y_0, et que la dépression ne dépasse pas $\frac{y_0}{2}$, M. de Sparre donne les équations suivantes pour le calcul de la courbe de la variation de pression obtenue par une variation de vitesse :

1re période $\quad T \leq \frac{2L}{a}$

$$(2) \qquad B_1 = \frac{a}{g}\,\frac{(v_0 - v_1)}{1+\frac{a}{2gy_0}\,v_1}$$

2e période $\quad \frac{2L}{a} < T \leq \frac{4L}{a}$

$$(3) \qquad B_2 = \frac{a}{g}\,\frac{(v_1 - v_2)}{1+\frac{a}{2gy_0}\,v_2} - B_1\,\frac{1-\frac{a}{2gy_0}\,v_1}{1+\frac{a}{2gy_0}\,v_2}$$

nme période $\quad \frac{2(n-1)}{a}\,L < T \leq \frac{2nL}{a}$

$$(3\text{ bis}) \qquad B_n = \frac{a}{g}\,\frac{(v_{n-1} - v_n)}{1+\frac{a}{2gy_0}\,v_n} - B_{n-1}\,\frac{1-\frac{a}{2gy_0}\,v_{n-1}}{1+\frac{a}{2gy_0}\,v_n}$$

formules dans lesquelles :

v_0 = vitesse à l'origine du mouvement;

v_1 = vitesse correspondant à l'ouverture réalisée au temps t, sans tenir compte du coup de bélier;

v_2 = même vitesse au temps $t + \frac{2L}{a}$;

v_n = même vitesse au temps $t + \frac{2(n-1)}{a}\,L$;

y_0 = pression statique.

La courbe se calcule par points comme avec la formule d'Alliévi.

Les figures 1 et 2 donnent deux graphiques relevés à l'usine de Soulom, obligeamment mis à ma disposition par MM. Gariel, Camichel et Eydoux. Sur le premier, la courbe calculée par la formule d'Alliévi est complètement tracée, celle obtenue par la formule simplifiée de M. de Sparre est indiquée par des croix. Sur le deuxième graphique, la courbe de M. de Sparre est seule dessinée. On remarquera que le coup de bélier maximum calculé correspond bien au coup de bélier relevé. La concordance est moins bonne dans les ondes qui suivent la fermeture complète, cela provient uniquement de la simplification apportée aux données pour faciliter le calcul des points, en considérant la conduite comme un tube d'épaisseur constante. En supposant la conduite comme formée de 2 ou 3 tronçons, chacun d'épaisseur constante, M. de Sparre a montré la concordance complète de la courbe calculée avec les graphiques relevés.

Pratiquement, les variations de vitesse sont bien près d'être directement proportionnelles aux temps de fermeture; autrement dit, les variations de vitesse produites par le mouvement de vannage se rapprochent beaucoup d'une droite. Dans ces conditions nous pouvons admettre, dans ce qui va suivre, que nous aurons toujours des variations linéaires; cela simplifie le problème et permet une discussion plus facile des formules générales de M. de Sparre. En partant de ces dernières, nous nous proposons, par déduction et par démonstration simple,

[1] Voir *Bulletin technique* 1918, p. 209.

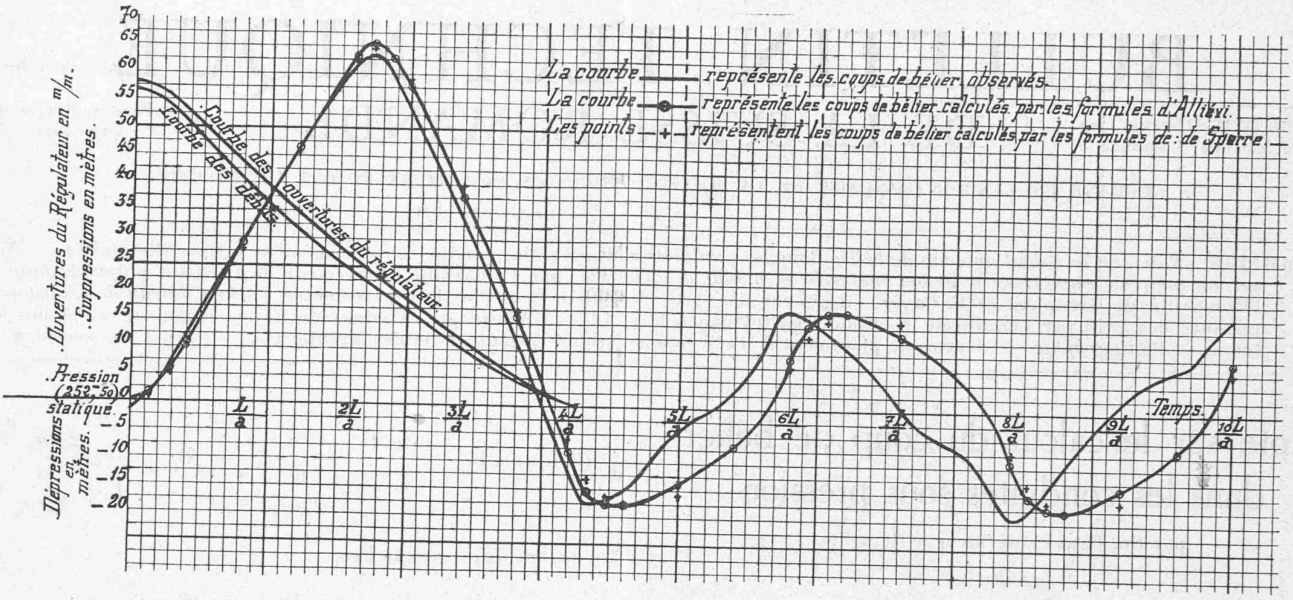


Fig. 1. — Usine de Soulom. — Essais de coups de bélier (juillet 1916).
Courbes représentatives des coups de bélier. — Conduite supposée constituée de : 1 tronçon.
$a = 1068$ m./s.

d'obtenir les formules établies par MM. de Sparre et Gariel, donnant la valeur du coup de bélier maximum pour les ouvertures et fermetures complètes.

CHAPITRE PREMIER

Calcul du coup de bélier maximum.

A) COUP DE BÉLIER MAXIMUM DE FERMETURE

1° *Coup de bélier produit par une variation de vitesse pendant un temps* $\leq \frac{2L}{a}$ (1re période).

L'arrêt du vannage a lieu avant le temps θ que met l'onde à revenir au vannage, phase du coup de bélier direct.

Dans cette période, le coup de bélier est donné par la formule (2) ci-dessus :

$$B_1 = \frac{a}{g} \cdot \frac{v_0 - v_1}{1 + \frac{a}{2gy_0} v_1} \qquad (2)$$

Cette valeur sera maximum pour $v_1 = 0$, c'est-à-dire pour la fermeture complète, et pour la plus grande valeur de v_0 qui peut être ramenée à zéro pendant le temps $\theta = \frac{2L}{a}$. Il en résulte que :

Le coup de bélier maximum a lieu pour une fermeture complète en un temps $\theta = \frac{2L}{a}$, il est donné par la formule :

$$B_m = \frac{av_0}{g} \qquad (4)$$

Cette remarque très importante est due à *Joukowski* (1900), qui a encore démontré que ce maximum ne peut être dépassé au vannage, même si la fermeture est instantanée. Cette valeur $\frac{av_0}{g}$ peut aussi se tirer directement de l'équation d'Alliévi, avec $\psi(t) = 0$ pour la fermeture au temps $\frac{2L}{a}$.

Si nous considérons une vitesse V ramenée à zéro pendant un temps $T > \frac{2L}{a}$, par une diminution de vitesse régulière de $\frac{V}{T}$ par seconde (fermeture linéaire), nous pourrons toujours ramener à zéro une vitesse v_0 pendant le temps θ, avec cette même diminution linéaire de vitesse, et nous aurons :

$$\frac{v_0}{\theta} = \frac{V}{T} \qquad \text{d'où :} \qquad v_0 = \frac{V}{T}\theta = \frac{2LV}{aT};$$

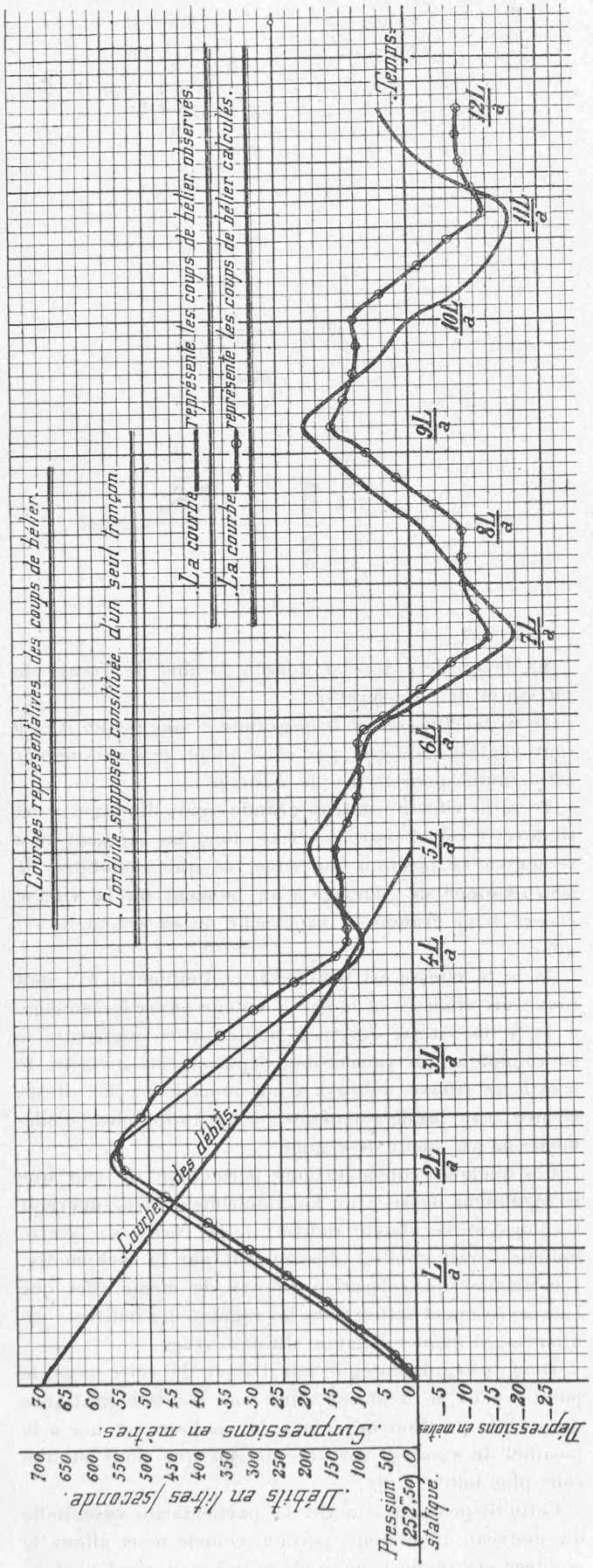
en remplaçant v_0 par cette valeur dans (4) nous aurons cette formule importante en fonction de V et $T > \frac{2L}{a}$:

$$B_m = \frac{2LV}{gT} \qquad (5)$$

c'est la formule de M. *Michaud* rappelée plus haut.

En faisant $T = \frac{2L}{a}$, v_0 devient égal à V et nous aurons $B_m = \frac{a}{g} V$.

Si la fermeture complète de V à 0 a lieu dans un temps $T < \frac{2L}{a}$, la formule 5 n'est pas applicable, car elle donne un résultat supérieur au maximum possible qui est $\frac{a}{g} V$. En outre, pour que le coup de bélier $\frac{2LV}{gT}$ soit $\leq y_0$ il faut prendre $T \geq \frac{2LV}{gy_0}$.



$a = 1068$ m./s.

Fig. 2. — Usine de Soulom. — Essais de coups de bélier (juillet 1916).

2° *Coup de bélier produit par une variation de vitesse pendant un temps* $T > \frac{2L}{a}$ (2e période et suivantes).

L'arrêt de la vanne a lieu après le temps $\frac{2L}{a}$ que met l'onde à revenir jusqu'à elle.

L'étude des formules (3) et (3 bis) qui donnent la valeur du coup de bélier, conduit à deux cas suivant que $\frac{av_0}{2gy_0}$ est plus grand ou plus petit que 1.

1er Cas : $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ *(hautes chutes).*

La valeur du coup de bélier B_1 au temps $\frac{2L}{a}$ est donnée par la formule (2) dans laquelle la vitesse v_1 n'est pas nulle puisque le mouvement de vannage n'est pas terminé.

Pendant la 2e période, allant de $\frac{2L}{a}$ à $\frac{4L}{a}$, le coup de bélier B_2 se calcule avec la formule (3) dans laquelle tous les termes $\frac{av}{2gy_0}$ sont < 1 puisque nous avons posé $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$ et qu'il s'agit d'une fermeture, donc d'une diminution progressive de la vitesse.

M. de Sparre démontre que B_2 est $< B_1$ et que *la valeur maximum du coup de bélier est donnée au temps* $\frac{2L}{a}$. Sans reprendre cette démonstration, on peut arriver facilement au même résultat en posant simplement $B_1 > B_2$; pour simplifier, remplaçons $\frac{a}{2gy_0}$ par r

$$\frac{a}{g} \cdot \frac{(v_0 - v_1)}{1 + rv_1} > \frac{a}{g} \cdot \frac{(v_1 - v_2)}{1 + rv_2} - \frac{a}{g} \cdot \frac{(v_0 - v_1)(1 - rv_1)}{1 + rv_1\ (1 + rv_2)}$$

les différences $v_0 - v_1$, $v_1 - v_2$ étant égales pour une fermeture linéaire et des périodes entières de θ, nous aurons :

$$\frac{1}{1 + rv_1} > \frac{1}{1 + rv_2} - \frac{1 - rv_1}{(1 + rv_1)(1 + rv_2)}$$

d'où :

$$1 > \frac{2rv_1}{1 + rv_2}$$

en posant $v_0 - v_1 = b$, nous aurons : $v_1 = v_0 - b$, $v_2 = v_0 - 2b$ et en remplaçant dans l'inégalité ci-dessus :

$$1 + rv_0 - 2rb > 2rv_0 - 2rb$$

d'où :

$$1 > rv_0$$

or, nous avons admis $rv_0 < 1$, donc $B_1 > B_2$; on démontre de la même manière que $B_1 > B_3$ etc...

La valeur maximum du coup de bélier est donc B_1 au temps $\frac{2L}{a}$, soit :

$$B_m = \frac{a}{g} \frac{(v_0 - v_1)}{1 + \frac{av_1}{2gy_0}} \qquad (2)$$

Si nous remplaçons, comme plus haut, les valeurs de v_0 et v_1 en fonction de V et du temps $T > \frac{2L}{a}$, nécessaire pour une fermeture totale, nous aurons :

$$\frac{V}{T} = \frac{v_0 - v_1}{g}$$

d'où : $v_0 - v_1 = \frac{2LV}{aT}$ et $v_1 = V - \frac{2LV}{aT}$,

car $v_0 = V$, la formule (2) deviendra :

$$(6) \qquad B_m = \frac{2LV}{gT} \frac{1}{1 + \frac{aV}{2gy_0} - \frac{LV}{gTy_0}}$$

Cette formule donne pour $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$, cas des hautes chutes, la valeur du coup de bélier pour une fermeture complète de V à 0 pendant le temps T plus long que $\frac{2L}{a}$. L'intensité de ce coup de bélier est inférieure à la valeur $\frac{2LV}{gT}$ trouvée plus haut, car $\frac{aV}{2gy_0}$ est $> \frac{LV}{gTy_0}$, puisque $T > \frac{2L}{a}$; le dénominateur est donc > 1 et $B_m < \frac{2LV}{gT}$. Le rapport $\frac{V}{T}$ est constant pour une fermeture linéaire; le terme $\frac{aV}{2gy_0}$ diminue avec V et les autres termes restant constants, la valeur (6) augmente au fur et à mesure que V diminue; le coup de bélier sera donc maximum pour la valeur minimum de V qui est celle correspondant à une fermeture en temps $T = \frac{2L}{a}$; à cette limite, la formule (6) devient $B_m = \frac{2LV}{gT}$. Donc: *dans le cas* $\frac{av_0}{2gy_0} < 1$, *la valeur du coup de bélier augmente à mesure que diminue l'ouverture à partir de laquelle la fermeture commence; le coup de bélier maximum a lieu pour la fermeture en temps* $T = \frac{2L}{a}$ *et il est donné par la valeur* $\frac{2LV}{gT}$.

(A suivre).

Note sur un nouveau régulateur

à action indirecte et à indication mixte

par

L. Barbillion, directeur de l'Institut polytechnique de l'Université de Grenoble

et P. Cayère, ingénieur des Arts et Métiers et de l'Institut de Grenoble.

Dans ce régulateur le tiroir du servo-moteur de vannage est lié à un point *c* du levier *C*, les extrémités du levier *C* sont liées, l'une *a* à un tachymètre *A* qui donne à *a* une levée proportionnelle à l'écart de vitesse, l'autre *b* à un indicateur d'accélération *B* qui donne à *b* une levée proportionnelle à l'accélération.

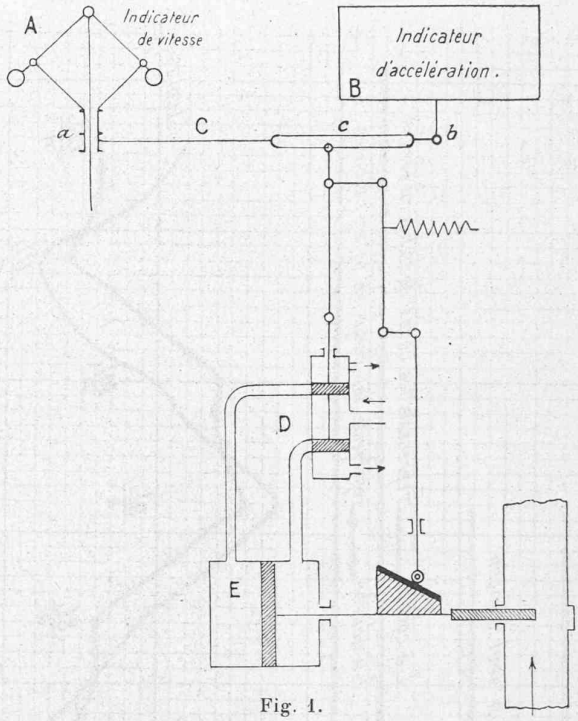


Fig. 1.

La levée de *c* dépend donc à la fois de l'écart de vitesse et de l'accélération.

1° Si la vitessse est trop grande et augmente, *a* et *b* sont soulevés, *c* aussi par conséquent, le servo-moteur est actionné pour fermer le vannage.

2° Si la vitesse est trop grande, mais diminue, *a* est soulevé, *b* est abaissé, il arrive donc un moment où *c* revient à sa position moyenne, ce qui immobilise le servo-moteur de vannage à un moment où la vitesse encore trop grande se rapproche de sa valeur de régime.

3° Si la vitesse est trop petite et diminue, *a*, *b*, *c* sont tous trois abaissés et le servo-moteur ouvre le vannage.

4° Si la vitesse est trop petite, mais augmente, le servo-moteur, en raison des déplacements inverses de *a* et *b*, se trouve débrayé à un moment où la vitesse encore trop faible a tendance à se rapprocher d'elle-même de sa valeur de régime.

Ces quelques considérations permettent de voir que le régulateur décrit a un fonctionnement bien supérieur à celui d'un régulateur indirect où le tiroir du servo-moteur serait conduit directement par le tachymètre. L'indicateur d'accélération produit le même effet que l'asservissement utilisé dans les régulateurs indirects ordinaires, il avance l'instant du débrayage.

Dans le régulateur qui fait l'objet de cette note, le point *c* peut se déplacer dans une coulisse pratiquée dans *C*, la position de *c* dans la coulisse est liée à la position du vannage suivant une loi que nous étudierons plus loin.

Cette disposition, qui est la particularité essentielle du nouveau régulateur, permet, comme nous allons le montrer, de réaliser un réglage théoriquement parfait.