

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 82 (1956)

Heft: 7

Artikel: Peut-on parler de la précision d'un réglage automatique et comment définir cette Qualité?: cas du réglage de vitesse

Autor: Gaden, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62056>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Abonnements :
Suisse: 1 an, 26 francs
Etranger: 30 francs
Pour sociétaires:
Suisse: 1 an, 22 francs
Etranger: 27 francs
Prix du numéro: Fr. 1.60
Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »
N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à
Imprimerie La Concorde,
Terreaux 31, Lausanne

Rédaction
et éditions de la S. A. du Bulletin technique (tirés à part), Case Chauderon 475
Administration de la S. A. du Bulletin Technique
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitoux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. H. Gicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Grosgrin, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration
de la Société anonyme du Bulletin technique: A. Stucky, ingénieur, président; M. Bridel; G. Epitoux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces

1/1 page	Fr. 264.—
1/2 »	» 134.40
1/4 »	» 67.20
1/8 »	» 33.60

Annonces Suisses S. A.
(ASSA)



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE : *Peut-on parler de la précision d'un réglage automatique et comment définir cette qualité?* par D. GADEN, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne. — *Le nouvel appareil à doser le chlore « Chlormatic »,* communiqué par « Travaux hydrauliques S. A. », Berne. — **LES CONGRÈS :** *Journées suisses d'études sur l'énergie nucléaire.* — **SERVICE DE PLACEMENT.** — **DOCUMENTATION GÉNÉRALE.** — **NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES.**

PEUT-ON PARLER DE LA PRÉCISION D'UN RÉGLAGE AUTOMATIQUE ET COMMENT DÉFINIR CETTE QUALITÉ ?

Cas du réglage de vitesse

par D. GADEN,
professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne

Le domaine de la technique où la notion de précision est la plus proche (bien que différente) de celle qui me paraît devoir être appliquée à un réglage automatique, est celui des appareils de mesure.

On dit qu'un appareil de mesure est plus ou moins précis quand, pour une valeur bien déterminée de la grandeur à mesurer, ses indications au cours de plusieurs mesures sont plus ou moins rapprochées les unes des autres et ceci d'une façon indépendante des conditions de ces mesures. Ces conditions auxquelles le résultat des mesures doit donc demeurer insensible, sont à fixer dans chaque cas particulier; mais il s'agit le plus souvent de l'époque de la mesure (indépendance par rapport au temps), de la manière dont la grandeur à mesurer atteint la valeur bien déterminée en question: en croissant, en décroissant, rapidement, lentement. Ces conditions ont parfois également trait à des considérations relatives à l'ambiance (par exemple la température) dans laquelle la mesure est effectuée.

Il se peut d'ailleurs que, pour une valeur bien déterminée de la grandeur à mesurer, l'ensemble des indi-

cations de l'appareil soit plus ou moins éloigné de la dite valeur; mais c'est alors que pour obtenir un résultat exact, il faut apporter aux lectures une correction déduite d'un étalonnage de l'appareil. Les deux notions de *précision* et d'*exactitude* ne doivent pas être confondues; elles correspondent à deux qualités différentes de l'appareil et il n'est pas étonnant que l'on attache plus de prix à la première d'entre elles, une imperfection de la seconde étant de conséquences beaucoup moins graves, puisqu'on peut y remédier, je le répète, au moyen d'une courbe d'étalonnage.

Il faut maintenant rappeler qu'au moyen d'un réglage automatique, on se propose de maintenir la valeur de la grandeur réglée le plus près possible d'une valeur déterminée dite valeur de consigne. Je considérerai plus spécialement le cas où cette valeur de consigne est invariable et je supposerai tout d'abord qu'il n'existe pas de statisme, quitte à revenir plus tard sur l'influence qu'il pourrait avoir. Dans ces conditions, on peut aussi dire que le réglage automatique a pour but de maintenir la valeur instantanée de la grandeur réglée aussi cons-

tante que possible. Il vient dès lors tout naturellement à l'idée de convenir qu'un réglage sera plus ou moins précis, selon que les valeurs instantanées de la grandeur réglée seront plus ou moins rapprochées les unes des autres et l'on est ainsi amené à considérer la précision d'un réglage automatique d'une manière tout à fait parallèle à celle que je viens d'exposer à propos des appareils de mesure.

On peut même pousser plus loin l'analogie et dire que si l'on constate une différence entre la moyenne temporelle de la grandeur réglée et sa valeur de consigne, c'est que le réglage souffre d'un défaut d'*exactitude*. Cette imperfection provient en général d'une erreur dans la graduation de l'indicateur du dispositif de changement de la valeur de consigne, en d'autres termes d'une erreur d'étalonnage de l'organe de mesure du régulateur. Puisqu'il s'agit de juger d'une qualité ou d'un défaut du réglage et non pas de la personne appelée à s'en servir, on ne dira évidemment pas qu'un réglage est inexact si la dite personne a commis une erreur dans l'ajustement de la valeur de consigne, par une manœuvre incorrecte du dispositif précité.

Comme pour les appareils de mesure et pour les mêmes raisons, l'*exactitude* d'un réglage est une qualité de moindre importance que sa précision.

Je reviendrai donc à cette précision en montrant d'abord pourquoi la façon dont je l'ai jusqu'ici considérée, en vue d'introduire le sujet, ne convient pas pour caractériser véritablement le réglage. Il ne faut en effet pas oublier que la raison d'être d'un réglage réside dans le fait que la valeur de la grandeur réglée tend à s'écarter de sa valeur de consigne par suite de perturbations extérieures, en d'autres termes à cause des variations imprévisibles d'une grandeur perturbatrice qui provoquent le jeu du réglage, sans qu'en retour le réglage ait une action quelconque sur elles. Ainsi, dans le cas du réglage de vitesse d'un groupe électrogène, auquel je m'attacherai plus particulièrement, cette vitesse tend à se modifier à cause des changements continus qui interviennent dans la charge consommée par la clientèle du réseau de distribution que ce groupe alimente.

On ne saurait donc se prétendre fondé à juger de la précision d'un réglage par un écart de la grandeur réglée, ici la vitesse, sans tenir compte de l'importance de la perturbation qui y a donné lieu, ici le changement de la charge consommée par la clientèle du réseau. On ne peut pas séparer la considération de l'effet de celle de la cause, la notion de précision devant toutes deux les réunir. Il ne peut notamment être question de parler de précision de réglage en l'absence de variations de la charge, c'est-à-dire si la valeur de celle-ci demeure constante¹. S'il se produisait dans ces conditions des écarts de vitesse, ceux-ci seraient le fait d'une *insensibilité* du réglage, mais pas à proprement parler de son imprécision.

On pourrait par contre essayer de déterminer l'*imprécision* d'un réglage de vitesse par le rapport entre l'écart subi par cette vitesse et la variation de charge qui l'a

provoqué. Dans le domaine des petits écarts, ce rapport est en effet pratiquement constant, c'est-à-dire qu'il ne dépend pas de l'amplitude de la variation de charge, à laquelle l'amplitude de la variation de vitesse reste toujours proportionnelle. Or, ce domaine des petits écarts est bien celui dans lequel, en pratique, le fonctionnement d'un réglage a toujours lieu; il est par conséquent celui dans le cadre duquel la notion de précision doit essentiellement être fixée. Remarquons en passant que pour donner à ce rapport une valeur sans dimension, il suffit d'évaluer l'amplitude de la variation de charge en pour-cent de la charge du régime considéré et celle de la variation de vitesse en pour-cent de la valeur de consigne.

Toutefois, le rapport en question dépend dans une très grande mesure de l'allure même de la variation de charge, en d'autres termes de la façon dont elle évolue dans le temps, pour tout dire de sa loi en fonction du temps. C'est donc là une difficulté dont il s'agit de venir à bout pour définir la qualité que constitue la précision du réglage.

Il serait, il est vrai, possible de convenir d'une certaine loi de variation de la charge et considérer par exemple la plus simple d'entre elles: l'échelon orthogonal, c'est-à-dire une variation brusque partant d'une valeur constante de la charge pour aboutir à une autre valeur également constante de celle-ci. Cette manière de procéder ne saurait cependant satisfaire l'esprit, parce que trop conventionnelle et trop éloignée des conditions réelles d'emploi d'un réglage automatique.

Les variations de la charge consommée par la clientèle d'un réseau n'apparaissent en effet pas sous la forme de sauts brusques, séparés par des paliers. Ces variations telles qu'elles se révèlent, avec l'allure d'une dentelle, sur le relevé d'un wattmètre enregistreur fidèle, à déroulement assez rapide, s'apparentent plutôt à des variations sinusoïdales et il en est ainsi des variations de nombreuses grandeurs perturbatrices de divers cas de réglage. Je dis bien « s'apparentent », car elles n'en sont en réalité pas.

Malgré cette réserve que j'aurai à reprendre plus loin, pour montrer combien cette considération de variations sinusoïdales est tout de même susceptible d'éclairer le problème d'un jour nouveau, je m'arrêterai un moment à l'examen des résultats de telles variations. Il s'agit donc de la variation également sinusoïdale de la vitesse provoquée par une variation sinusoïdale de la charge, les deux variations se déroulant naturellement avec la même fréquence.

Une variation sinusoïdale est caractérisée par son amplitude et sa fréquence. J'ai déjà dit que le rapport des amplitudes des variations de la vitesse et de la charge était une constante, mais seulement pour la même allure de ces variations, c'est-à-dire dans le cas d'une loi sinusoïdale, pour la même fréquence. Ce rapport n'est donc ici fonction que de cette fréquence et il n'est pas difficile, par le simple bon sens, de se faire une idée de la forme de cette fonction.

Tout d'abord, si la variation de charge s'effectue avec des fréquences élevées, on conçoit que même en dehors de toute action du régulateur l'effet d'inertie des masses tournantes du groupe (à laquelle s'ajoute l'inertie des machines entraînées par les moteurs du réseau) étouffe

¹ A moins que la charge résistante demeurant constante, c'est du côté moteur du groupe qu'il se produit des fluctuations irrégulières de puissance. Cas de la marche à vide de certaines turbines hydrauliques.

la variation de vitesse qui en est la conséquence. En d'autres termes, le rapport en question est de très faible valeur pour les hautes fréquences et tend vers zéro au fur et à mesure que ces fréquences augmentent.

Par ailleurs, si la variation de charge a lieu avec des fréquences petites, le régulateur n'éprouve aucune difficulté à les suivre, c'est-à-dire à les compenser, ceci sans laisser apparaître une variation de vitesse sensible. En

d'autres termes, le rapport en question est de nouveau de très faible valeur pour les basses fréquences et tend vers zéro au fur et à mesure que ces fréquences diminuent.

Ce n'est qu'entre ces deux gammes extrêmes qu'il existe une bande de fréquences pour lesquelles la variation de la charge peut se traduire par une variation de vitesse sensible et parfois même très sensible. Le rapport des amplitudes des deux variations, qui donne la mesure de l'imprécision, prend alors des valeurs beaucoup plus grandes, comme le montre à titre d'exemple le diagramme de la figure 1.

Ces considérations peuvent se résumer en disant que le réglage se comporte comme un filtre passe-bande et que c'est seulement à l'intérieur de la bande passante que l'imprécision du réglage, déterminée par la valeur du rapport précité, peut pratiquement se révéler. A l'extérieur de cette bande qui, dans les cas courants de réglages de vitesse, s'étend approximativement de 0,3 Hz à 0,015 Hz, la précision du réglage est toujours excellente, c'est-à-dire son imprécision quasi nulle.

Le rapport qui définit l'imprécision peut aussi bien être celui des amplitudes que celui des valeurs efficaces des variations comptées à partir de la moyenne temporelle de la charge ou de la vitesse. Cette valeur efficace n'est autre que leur écart quadratique moyen ou écart type : racine carrée du carré moyen des écarts.

Ajoutons que l'imprécision, ainsi conçue sur la base de variations sinusoïdales, prend une valeur bien définie et constitue donc une caractéristique du réglage, si l'on convient de considérer soit une variation de la charge ne comportant qu'une seule fréquence, soit une variation en comportant plusieurs, mais à condition de connaître l'importance relative des amplitudes des diverses composantes de fréquences différentes.

A cet effet, il est plus commode de substituer, à l'emploi des amplitudes ou des écarts quadratiques moyens, celui des carrés moyens des écarts. On dira donc que l'imprécision, ainsi comprise, définit quantitativement une qualité du réglage, si l'on convient de considérer une loi harmonique *type* de la variation de charge, dont on connaît la distribution du carré moyen selon les fréquences, par un spectre de raies : une composante de grandeur finie, pour chacune des fréquences en nombre fini.

Ce spectre de raies peut être représenté par un diagramme, comme celui de la figure 2, comportant en abscisse les fréquences et en ordonnée les carrés moyens des écarts. Pour chacune des composantes de la variation de charge, à l'abscisse correspondant à sa fréquence, la hauteur de l'ordonnée représente le carré moyen de ses écarts.

Le carré moyen des écarts de la variation de charge est égal à la somme des carrés moyens des diverses composantes.

C'est cette généralisation qu'il s'agit maintenant de pousser plus avant en revenant à la forme réelle

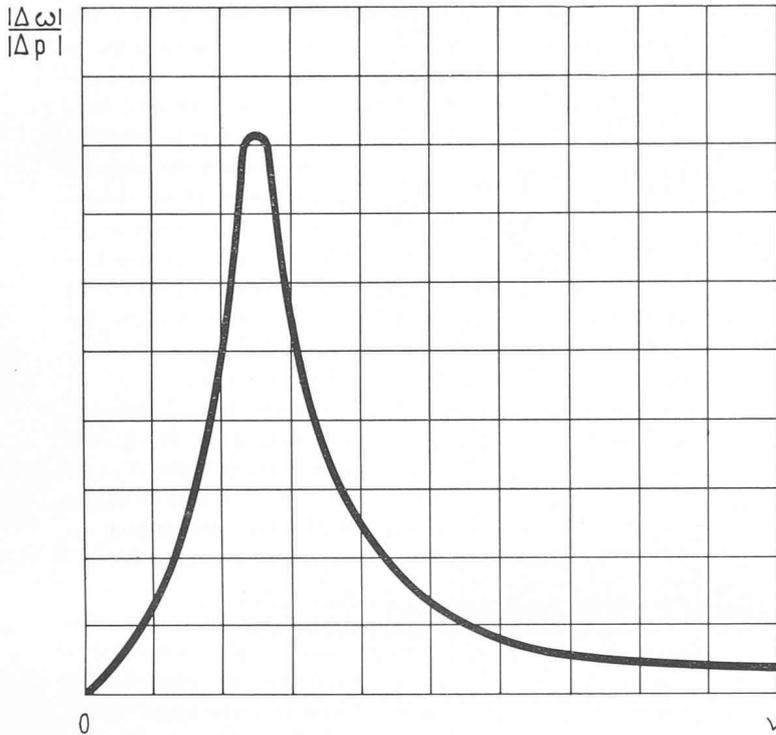


Fig. 1. — Variations sinusoïdales.

ν Fréquence des variations sinusoïdales.

$\frac{|\Delta\omega|}{|\Delta p|}$ Rapport des amplitudes des variations de vitesse et de charge.

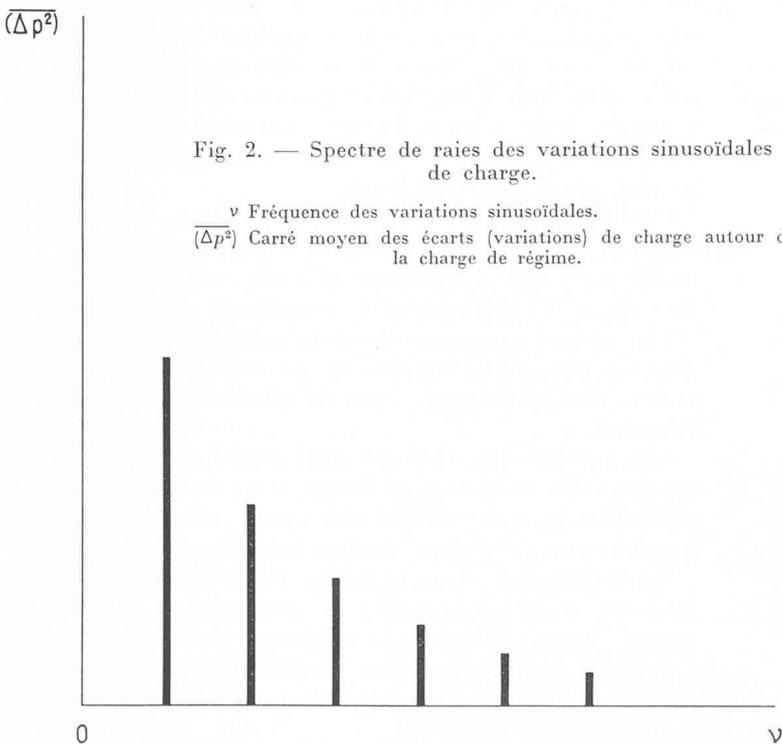


Fig. 2. — Spectre de raies des variations sinusoïdales de charge.

ν Fréquence des variations sinusoïdales.
 $(\overline{\Delta p^2})$ Carré moyen des écarts (variations) de charge autour de la charge de régime.

de la variation de la charge consommée par la clientèle d'un réseau de distribution. Or, cette charge évolue selon des circonstances qui dépendent purement du hasard, c'est-à-dire selon ce que les probabilistes désignent sous le nom de fonction aléatoire du temps. Cette fonction, dont on mesure la valeur à partir de la moyenne temporelle de la charge, n'est pourtant pas entièrement quelconque et, toujours dans le domaine des petits écarts, elle présente, entre certaines limites, des caractères de stationnarité, qui correspondent à des conditions dont les expressions mathématiques ont été formulées.

Sans m'arrêter à ces expressions¹, je me contenterai de préciser que pour une telle fonction, qui naturellement n'est nullement périodique, sa stationnarité se traduit par une distribution bien déterminée du carré moyen de ses écarts, selon les fréquences, non plus d'après un spectre de raies, mais d'après un spectre continu : une composante infiniment petite pour chacune des bandes de fréquences infiniment étroites, mais en nombre infini.

Ce spectre continu peut être représenté par un diagramme, comme celui de la figure 3, comportant tou-

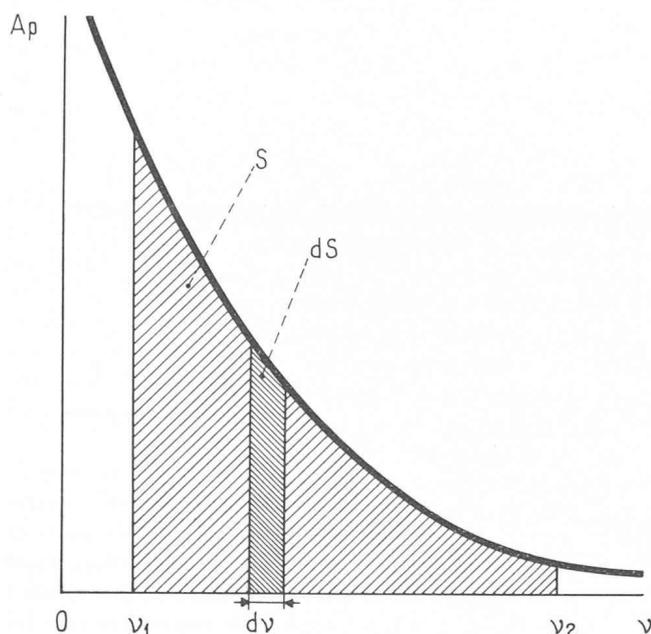


Fig. 3. — Spectre continu des variations aléatoires de charge.

- ν Fréquence des variations de charge.
- A_p Densité énergétique des variations de charge.
- dS Composante élémentaire du carré moyen des écarts (variations) de charge, correspondant à la bande de fréquence infiniment étroite $(\nu, \nu + d\nu)$.
- S Carré moyen des écarts (variations) de charge $\overline{(\Delta p)^2}$ dans la gamme des fréquences s'étendant de ν_1 à ν_2 .

jours en abscisse les fréquences et en ordonnée une densité énergétique A_p , dont la courbe détermine précisément la distribution du carré moyen des écarts. En effet, la surface élémentaire comprise entre cette courbe, l'axe des abscisses et deux ordonnées infiniment rapprochées, représentatives d'une bande de fréquences

¹ Voir les mémoires [1] à [4] et [6] mentionnés dans la bibliographie figurant à la fin du présent article.

infiniment étroite, mesure la composante infiniment petite du carré moyen des écarts correspondant à cette bande de fréquences.

Le carré moyen des écarts de la variation de charge ne se calcule plus par une somme, comme dans le cas d'un spectre de raies, mais au moyen d'une intégration, c'est-à-dire d'une surface : celle limitée par la courbe de densité énergétique et les deux axes de coordonnées.

En réalité, il n'y a pas besoin de procéder à une intégration de la fréquence nulle à la fréquence infinie, autrement dit de tenir compte du carré moyen des écarts de toutes les variations de charge quelles qu'en soient les fréquences. J'ai déjà dit, en effet, que l'imprécision ne pouvait pratiquement se révéler que dans la bande passante du filtre que constituait le réglage. Il suffit donc, en vue de la détermination du rapport des écarts quadratiques moyens de vitesse et de charge — rapport qui donne la mesure de l'imprécision — de considérer ce qui se passe dans la gamme des fréquences correspondant à la bande précitée et ceci tant en ce qui concerne l'estimation du carré moyen des écarts (par intégration entre les deux fréquences limites) que sa distribution selon les fréquences.

Cette circonstance est particulièrement heureuse, d'une part parce que pour l'estimation de la densité énergétique du carré moyen des écarts il suffit d'avoir recours à des relevés de durée limitée : 30 à 600 secondes pour des fréquences de 0,3 à 0,015 Hz (périodes d'environ 3 à 60 secondes), et surtout parce que si la stationnarité des variations aléatoires est pratiquement réalisée dans la gamme des fréquences précitées, elle est très douteuse pour des fréquences plus basses. En d'autres termes, s'il fallait explorer ces plus basses fréquences, il faudrait non seulement faire appel à des relevés de durée plus longue, mais il y a bien à craindre que l'on ne retrouverait plus, pour la densité énergétique des variations aléatoires, une loi de forme bien déterminée, en fonction des fréquences. Que penser en effet de la constance de l'allure des variations aléatoires de charge, non plus sur des relevés de quelques minutes, mais de quelques heures ou de quelques jours ? Or, en dehors de l'hypothèse de la stationnarité, aucun calcul de ce genre relatif à des variations aléatoires n'est possible ; faute d'un fondement mathématique sûr, toute tentative de sortir du cadre de cette hypothèse ne peut aboutir qu'à un leurre.

Quoi qu'il en soit, l'exposé que je viens de faire amène à la conclusion suivante. L'imprécision, telle qu'elle a été définie, constitue bien une caractéristique du réglage, si l'on convient de considérer :

soit une loi harmonique *type* de la variation de charge, dont on connaît la distribution du carré moyen des écarts, selon les fréquences, par un spectre de raies *bien déterminé*,

soit une fonction aléatoire stationnaire *type*, représentative des variations de charge, dont on connaît la répartition du carré moyen des écarts, selon les fréquences, par un spectre continu *bien déterminé*.

Vu la présence, dans le second cas d'une fonction aléatoire, d'un nombre infini de composantes de fréquences différentes, chacune infiniment petite, le rapport qui définit l'imprécision ne peut plus être celui des plus grands écarts (amplitudes) des variations de

vitesse et de charge. Ce rapport doit être celui des écarts quadratiques moyens, racine carrée du rapport des carrés moyens des écarts. La relation entre le plus grand écart et l'écart quadratique moyen ne peut plus être qu'une relation de probabilité :

- 4,50 % de probabilité pour que le plus grand écart dépasse deux fois l'écart quadratique moyen ;
- 1,25 % de probabilité pour que le plus grand écart dépasse deux et demie fois l'écart quadratique moyen ;
- 0,25 % de probabilité pour que le plus grand écart dépasse trois fois l'écart quadratique moyen.

Or, certaines études ([2] et [3]) basées sur la théorie des probabilités, puis des résultats d'expériences [4] qui doivent encore être multipliées, ont montré que, dans la gamme des fréquences *relativement* élevées dont il a été question plus haut, la loi de la densité énergétique qui définit la répartition, selon les fréquences, du carré moyen des écarts de la charge consommée par la clientèle d'un réseau de distribution, est de forme *bien déterminée* et traduit une diminution de la densité énergétique en raison inverse du carré de la fréquence.

Dans ces conditions, il est bien évident que c'est là la fonction aléatoire stationnaire *type* à considérer puisque c'est elle qui traduit le mieux la réalité même. On dira donc finalement que l'imprécision du réglage est définie par le rapport des écarts quadratiques moyens des variations de vitesse et de charge, calculés sur la base d'échantillons d'environ 600 secondes de relevés fréquentométrique et wattmétrique, tels qu'on peut en enregistrer au moyen de bons appareils fidèles, à déroulement suffisamment rapide. L'imprécision ainsi définie a *un véritable sens*, c'est-à-dire qu'elle permet de caractériser un réglage ou de comparer entre eux plusieurs réglages, parce que l'on a posé comme principe que, du moins dans la bande passante du filtre que constitue le réglage, les variations aléatoires de charge revêtent un caractère de stationnarité et correspondent à un spectre continu toujours semblable à lui-même, selon lequel la densité énergétique décroît comme l'inverse du carré de la fréquence. La difficulté signalée plus haut touchant à la façon dont les variations de charge évoluent dans le temps est donc ainsi levée.

Reste à examiner quelles sont les modifications à apporter aux considérations que j'ai jusqu'ici développées pour tenir compte d'un statisme existant. Il faut, à cet égard, distinguer deux cas : celui où le statisme est voulu, puis celui où, au contraire, il n'est pas désiré et constitue une imperfection supplémentaire du réglage.

Rappelons tout d'abord que l'effet d'un statisme δ voulu se traduit par une dérogation à la règle initialement assignée au réglage, celle de maintenir à tout moment la vitesse à une valeur aussi constante que possible et égale à sa valeur de consigne. La vitesse instantanée doit maintenant demeurer aussi voisine que possible d'une valeur prescrite, qui varie en fonction des écarts de charge Δp et qui diffère de la valeur de consigne (constante) de la quantité $\Delta\omega_0$, selon la relation :

$$\Delta\omega_0 = -\delta\Delta p$$

laquelle exprime la loi de statisme.

L'écart de vitesse à considérer pour la détermination de l'imprécision du réglage n'est dès lors plus celui $\Delta\omega$, par rapport à la moyenne temporelle de la vitesse, mais celui $(\Delta\omega - \Delta\omega_0)$. Cette nouvelle considération complique seulement la lecture du relevé fréquentométrique, puisqu'il devient nécessaire d'en modifier le tracé en tenant compte en chaque point du terme de correction $-\delta\Delta p$, à calculer d'après le relevé wattmétrique. Les autres considérations demeurent les mêmes et l'on peut alors se demander s'il vaut la peine de s'imposer la complication du calcul du terme correctif précité. J'estime pour ma part que dans le domaine des petits écarts, dans lequel évolue toujours en pratique le fonctionnement d'un réglage, étant donné que la valeur d'un statisme voulu ne dépasse jamais quelques pour-cent, le terme correctif est négligeable et que l'on peut se passer d'en tenir compte.

Lorsque le statisme n'est pas désiré et qu'il n'est par exemple introduit que pour les besoins de la stabilité du réglage, son effet doit être tenu pour une imperfection et l'écart de vitesse à considérer, pour la détermination de l'imprécision du réglage, est de nouveau celui $\Delta\omega$, par rapport à la moyenne temporelle de la vitesse. Toutes les considérations que j'ai jusqu'ici développées demeurent les mêmes. Seule l'allure de la courbe de la figure 1 se modifie, essentiellement dans la région des basses fréquences où, au lieu de tendre vers une ordonnée nulle, elle tend vers une ordonnée à l'origine égale au statisme δ .

Cette modification peut faire craindre qu'il soit dès lors nécessaire de reculer la fréquence limite inférieure (ν_1 de la figure 3) à considérer pour le calcul du carré moyen des écarts aléatoires de charge, puisque la courbe du rapport $\frac{|\Delta\omega|}{|\Delta p|}$ ne tend plus vers zéro. Ceci est bien exact ; mais j'ai déjà dit plus haut pourquoi les résultats de l'exploration des très basses fréquences me paraissent a priori douteux, du fait que l'hypothèse de la stationnarité des variations s'éloigne alors trop de la réalité.

Etant donné par ailleurs les faibles valeurs pratiquement atteintes par le statisme δ (surtout s'il n'est pas désiré), je pense donc qu'il faut limiter la détermination des carrés moyens des écarts de charge et de vitesse à la gamme de fréquences que j'ai indiquées et définir l'imprécision par la racine du rapport de ces carrés moyens. Cette façon de procéder permet d'utiliser des échantillons de relevés de longueur (durée) raisonnable et surtout de rester dans le cadre de l'hypothèse de la stationnarité, grâce à laquelle la notion ainsi conçue de l'imprécision a un sens véritable.

D'ailleurs, dans la gamme des très basses fréquences considérée pour elle-même, il est facile de se rendre compte que l'imprécision d'un réglage comportant un statisme non désiré, est simplement égale à ce statisme δ . La caractéristique statique du réglage devient en effet prépondérante et, vu la lenteur avec laquelle évoluent les variations, l'importance de ses caractéristiques dynamiques s'estompe. On peut dire que le réglage se trouve toujours en régime permanent d'équilibre et jamais en régime transitoire.

C'est cette considération qui a, je pense, amené MM. A. Jacques, R. Renchon et M. Cuénod à proposer,

dans une de leurs récentes communications à la CIGRE [5], de prendre cette imprécision δ , propre au domaine de très basses fréquences, comme unité de mesure de l'imprécision dans une gamme de fréquences plus étendue. En désignant par ε_ω l'écart quadratique moyen de la vitesse et par ε_p l'écart quadratique moyen de la charge, ces auteurs écrivent l'expression de ce qu'ils ont appelé « facteur d'amortissement » sous la forme suivante :

$$k_a = \frac{\varepsilon_\omega}{\delta \varepsilon_p}$$

qui ne diffère de celle que j'ai proposée pour l'imprécision :

$$\mu = \frac{\varepsilon_\omega}{\varepsilon_p}$$

que par l'introduction au dénominateur du statistisme δ . L'expression préconisée par MM. A. Jacques, R. Renchon et M. Cuénod ne vaut évidemment que dans le cas où il existe un statistisme ; mais comme ils l'indiquent dans leur communication : ce facteur k_a est une mesure de l'influence des caractéristiques dynamiques du réglage sur la tenue de la vitesse.

Si l'utilisation du terme « facteur d'amortissement » appelle de ma part quelques réserves, je constate avec plaisir que l'idée suivie est au fond bien la même :

caractériser une qualité du réglage par un chiffre définissant son *imprécision*. J'ai exposé dans le présent mémoire les considérations qui me paraissent devoir être mises à la base d'une telle définition.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GADEN, D. : *Considérations sur la précision du réglage*. Bulletin de la Société française des Electriciens. 7^e série, t. 2 (1952), n^o 16, avril.
- [2] LEHMANN, G. : *Calcul du spectre des fluctuations du courant absorbé par un réseau de distribution électrique*. Bulletin de la Société française des Electriciens. 7^e série, t. 3 (1953), n^o 34, octobre.
- [3] FORTET, R. : *Spectre des fluctuations du courant absorbé par un réseau de distribution électrique*. Bulletin de la Société française des Electriciens. 7^e série, t. 4 (1954), n^o 47, novembre.
- [4] GADEN, D. : *Essai d'un procédé pour caractériser la clientèle d'un réseau selon la variabilité de sa consommation*. Bulletin de l'Association suisse des Electriciens. Année 1955. N^o 2.
- [5] JACQUES A., RENCHON R., CUÉNOD M. : *Etude expérimentale de la tenue de la fréquence dans un réseau électrique*. Rapport à la Réunion de mai 1955 du Comité d'étude n^o 13 de la Conférence internationale de Grands Réseaux électriques (CIGRE).
- [6] BLANC, CH. : *A propos de l'étude des fonctions aléatoires*. Bulletin technique de la Suisse romande. Année 1955. N^o 18.

663.632.544

LE NOUVEL APPAREIL A DOSER LE CHLORE « CHLORMATIC »

Communiqué par TRAVAUX HYDRAULIQUES S. A., Berne

Introduction

Le traitement avec le chlore à l'état gazeux est aujourd'hui la méthode la plus employée pour la désinfection de l'eau potable, de l'eau de piscine, de l'eau industrielle et des eaux d'égouts de tout genre. Ce fait n'a rien d'étonnant si l'on songe que le chlore est le désinfectant le meilleur marché et le plus concentré qui existe sur le marché.

Le chlore, ajouté à l'eau à traiter à l'état gazeux ou sous forme d'acide hypochloreux (HClO) en concentration correcte, agit de façon extrêmement agressive sur tous les petits organismes et bactéries se trouvant dans l'eau et les détruit en peu de temps. On ne sait pas très exactement quelles réactions et quels processus biologiques se produisent dans la paroi et dans le noyau des cellules lorsque les molécules de chlore (Cl₂) ou de l'acide hypochloreux (HClO) agissent sur les bactéries, mais on connaît avec certitude la puissance de désinfection et la vitesse de l'action bactéricide du chlore.

Aux avantages techniques du chlore moléculaire tel qu'on le trouve sur le marché (prix et concentration) s'oppose cependant son comportement physique, chimique et physiologique. Ainsi, le chlore, mis en présence de la plus petite quantité d'humidité, a une action extrêmement corrosive sur un très grand nombre de métaux (formation de chlorures métalliques) et sur

beaucoup de résines synthétiques. En raison de l'état très concentré du chlore et de son action désinfectante très forte, le traitement de l'eau avec le chlore doit être très précis et être contrôlé avec rigueur. Pour ne pas influencer le goût et l'odeur de l'eau, ou même pour ne pas la rendre impropre à la consommation, on ne doit y ajouter que des quantités minimales de chlore actif (quelques dixièmes de gramme par mètre cube d'eau), mais d'autre part il faut employer assez de chlore pour assurer la destruction complète de toutes les bactéries dangereuses et des autres organismes en un temps de contact assez court. Pour se faire une idée des conditions difficiles dans lesquelles l'appareil à doser le chlore doit travailler tout en étant sûr et précis, il est nécessaire de considérer les conditions de travail existantes.

1. Le chlore, livré sur le marché dans des bouteilles d'acier où il se trouve à l'état liquide en raison de la pression d'environ 5 atmosphères à laquelle il est soumis, est un gaz dans les conditions atmosphériques normales. Il sort de la bouteille à l'état gazeux sous une pression qui varie fortement suivant la température ambiante. Toutefois, ces variations de température et par suite de pression ne doivent avoir aucune influence sur la quantité dosée de chlore. Il s'ajoute à cela que de la chaleur est absorbée lors de l'évaporation du chlore liquide dans la bouteille d'acier et qu'il y a donc