

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 97 (1971)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Modèles mathématiques de deux réseaux électriques interconnectés  
**Autor:** Nabona, N. / Fantin, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-71181>

#### **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:** 23.02.2026

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

# Modèles mathématiques de deux réseaux électriques interconnectés

par N. NABONA et J. FANTIN

## Remarque préliminaire

Des études considérables ont été consacrées au problème de la tenue de la fréquence et de la tension d'un réseau électrique en marche isolée. Ce genre de marche tend à devenir de plus en plus exceptionnel. Le problème de l'analyse du réglage de la fréquence et de la tension est remplacé aujourd'hui par celui, plus complexe, du réglage des puissances d'échange sur les lignes d'interconnexion. Ces lignes ont en général des capacités relativement faibles par rapport aux puissances mises en jeu dans les réseaux qu'elles relient.

Les surcharges de ces lignes, qui risquent de conduire à leur mise hors service, peuvent avoir des conséquences très graves sur la marche du complexe interconnecté en provoquant d'autres incidents de service qui se répercutent en chaîne les uns sur les autres.

Il a été déjà relevé l'intérêt que présente l'utilisation de modèles de réseau pour analyser ces répercussions et optimiser le réglage des interconnexions en régime normal et en régime trouble.<sup>1</sup>

## I. Etablissement du modèle

### I-1 Éléments de base

Ce sont :

- schéma équivalent électrique de l'ensemble ;
- équations électromécaniques (ou équations de couples) ;
- équations dynamiques de la régulation.

### I-2 Schéma équivalent et variation des impédances

Ce schéma correspond à la figure 1.

Les notations adoptées sont :

- $E$  f.e.m. produite par l'alternateur ;
- $X$  réactance synchrone ;
- $V$  tension aux barres d'interconnexion ;

Ces modèles peuvent être constitués par des calculateurs du type analogique, numérique ou hybride. Leur développement nécessite au préalable l'élaboration de modèles mathématiques permettant de caractériser le comportement dynamique du réseau. On peut concevoir toute une hiérarchie de ces modèles de plus en plus complexes, tenant compte de facteurs négligés en première approximation.

Les travaux de recherche de MM. N. Nabona et J. Fantin, effectués au Laboratoire d'automatique de l'Université de Toulouse, sous la direction de M. Lucas Pun, apportent à cet égard une utile contribution, en mettant en évidence en particulier l'influence de l'impédance de la ligne d'accouplement sur les variations de la puissance d'échange résultant d'une brusque variation de la charge dans l'un des réseaux interconnectés.

Ce modèle mathématique, dans chaque cas particulier, est susceptible d'être complété en tenant compte du comportement dynamique des centrales asservies au réglage. Il donne une base utile pour une généralisation de cette étude.

M. CUÉNOD.

$X_T$	réactance transitoire du transformateur ;
$B_\mu$	admittance due au courant magnétisant du transformateur ;
$Z$	impédance de la charge propre de l'alternateur ;
$Z'_L, \frac{B_L}{2}$	impédance et admittances du schéma équivalent en $\pi$ de la ligne d'interconnexion.

Nous avons, dans notre étude, abordé le problème de la variation des impédances, afin d'analyser son incidence sur le comportement de l'ensemble.

Sous l'effet d'une perturbation, la valeur des impédances varie. Par transformations triangle - étoile - triangle, on

<sup>1</sup> M. CUÉNOD : Quelques exemples de réalisation de modèles de réseau pour la formation et l'entraînement du personnel d'exploitation des réseaux électriques. *Bulletin de l'Association suisse des électriciens*, n° 7, du 4 avril 1970, pages 34 à 325.

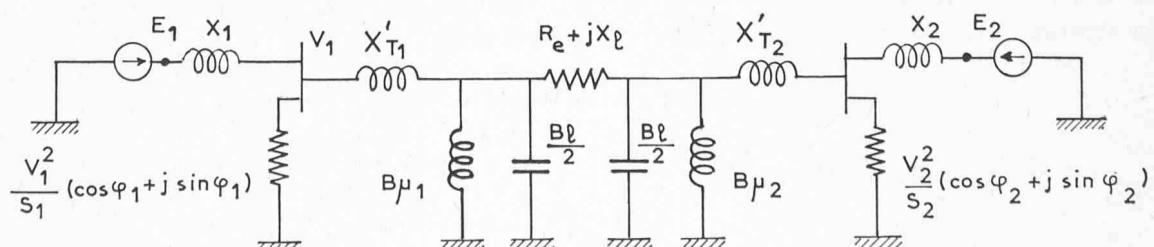


Fig. 1. — Schéma électrique équivalent de l'ensemble.

calcule à partir des données des ouvrages électriques les valeurs des impédances avant et après perturbation.

Pour une perturbation de 1 % dans la valeur du module de la charge attachée au générateur, on a constaté que :

- (1)  $\underline{Z_{11}}$  varie par rapport à  $\underline{Z_{11}^0}$  ;  
 $\underline{Z_{12}}$  varie peu par rapport à  $\underline{Z_{12}^0}$  ;  
 $\underline{Z_{22}}$  reste très voisin de  $\underline{Z_{22}^0}$ .

De plus,

$\underline{Z_{11}}$  et  $\underline{Z_{22}}$  ne sont pas des réactances pures ;  
 $\underline{Z_{12}} = Z_{12}$   $|\psi_{12}|$  est très près d'une réactance pure,

$$(1') \quad \text{soit donc } \psi_{12} \simeq \frac{\pi}{2} ;$$

$\underline{Z_{12}} = Z_{21}$  par définition même ;

$\underline{Z_{11}}, \underline{Z_{22}}$  sont les impédances résultantes vues de 1 et de 2.

### I-3 Equations électromécaniques

Pour deux réseaux interconnectés, ces équations s'écrivent :

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} (M_1 p + D_1) \frac{p\theta_1}{\omega} = \frac{1}{P_{n_1}} \left\{ P_{m_1} - \frac{E_1^2}{z_{11}} \cos \psi_{11} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{E_1 E_2}{z_{12}} \cos (\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) \right\} + A_1^0 \frac{\omega}{P_{n_1}}. \right. \\ (M_2 p + D_2) \frac{p\theta_2}{\omega} = \frac{1}{P_{n_2}} \left\{ P_{m_2} - \frac{E_2^2}{z_{22}} \cos \psi_{22} - \frac{E_2 E_1}{z_{21}} \right. \\ \left. \cos (\theta_2 - \theta_1 + \psi_{21}) \right\} + A_2^0 \frac{\omega}{P_{n_2}}. \end{array} \right.$$

avec :

- $M$  temps de lancement ;  
 $\theta$  angle fait par la f.e.m.  $E$  avec un axe tournant à la vitesse de synchronisme ;  
 $t$  le temps ;  
 $p$   $\frac{d}{dt}$  opérateur de dérivation ;  
 $\omega$  pulsation de synchronisme ;  
 $D$  coefficient d'amortissement ;  
 $P_m$  puissance motrice délivrée par la turbine ;  
 $P_n$  puissance active nominale ;  
 $E$  f.e.m. disponible aux bornes de l'alternateur.

#### Remarque

Les impédances  $Z$  ont été définies précédemment.

Les indices 1 et 2 sont relatifs aux réseaux 1 et 2.

L'indice supérieur  $0$  signifie : grandeur avant perturbation.

Ainsi :

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1^0 = \frac{E_1^2}{Z_{11}^0} \cos \psi_{11}^0 - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}^0} \cos (\theta_1^0 - \theta_2^0 + \psi_{12}^0) \\ A_2^0 = \frac{E_2^2}{Z_{22}^0} \cos \psi_{22}^0 - \frac{E_2 E_1}{Z_{21}^0} \cos (\theta_2^0 - \theta_1^0 + \psi_{21}^0) \end{array} \right.$$

et après perturbation :

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 = \frac{E_1^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \cos (\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) \\ A_2 = \frac{E_2^2}{Z_{22}} \cos \psi_{22} - \frac{E_2 E_1}{Z_{21}} \cos (\theta_2 - \theta_1 + \psi_{21}) \end{array} \right.$$

d'où les variations de puissance active :

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{a_1} = A_1 - A_1^0 \\ \Delta P_{a_2} = A_2 - A_2^0 \end{array} \right.$$

### I-4 Equations dynamiques en régulation P.I.

On posera :

- $T_s$  constante de temps de la turbine ;  
 $T_c$  constante de temps du système de commande ;  
 $T_k$  constante de temps propre au régulateur intégral ;  
 $K_f$  gain en variation de fréquence ;  
 $K_t$  gain en variation de puissance active débitée ;  
 $R$  gain en régulation  $P$ .

Les variables de commande sont :

- $p\theta$  en variation de fréquence ;  
 $\Delta P_a$  en variation de puissance active.

On obtient dans ce cas :

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} - \frac{k_1 t}{P(1 + T_{k_1} p)} \cdot \frac{\Delta P_{a_1}}{P_{n_1}} - \left\{ \frac{k_1 f}{p(1 + T_{k_1} p)} + \frac{1}{R_1} \right\} \\ \frac{p\theta_1}{\omega} = (1 + T_{s_1} p)(1 + T_{c_1} p) \frac{P_{m_1}}{P_{n_1}} \\ - \frac{k_2 t}{p(1 + T_{k_2} p)} \cdot \frac{\Delta P_{a_2}}{P_{n_2}} - \left\{ \frac{k_2 f}{p(1 + T_{k_2} p)} + \frac{1}{R_2} \right\} \\ \frac{p\theta_2}{\omega} = (1 + T_{s_2} p)(1 + T_{c_2} p) \frac{P_{m_2}}{P_{n_2}} \end{array} \right.$$

### I-5 Etablissement du modèle

#### I-5-1 Hypothèses

On supposera dans toute l'étude que les deux réseaux sont égaux :

$$(5) \quad \theta_1^0 = \theta_2^0;$$

que la tension aux bornes d'interconnexion

$$(5') \quad V = C^t e.$$

Le modèle comprendra les équations (2), (4).

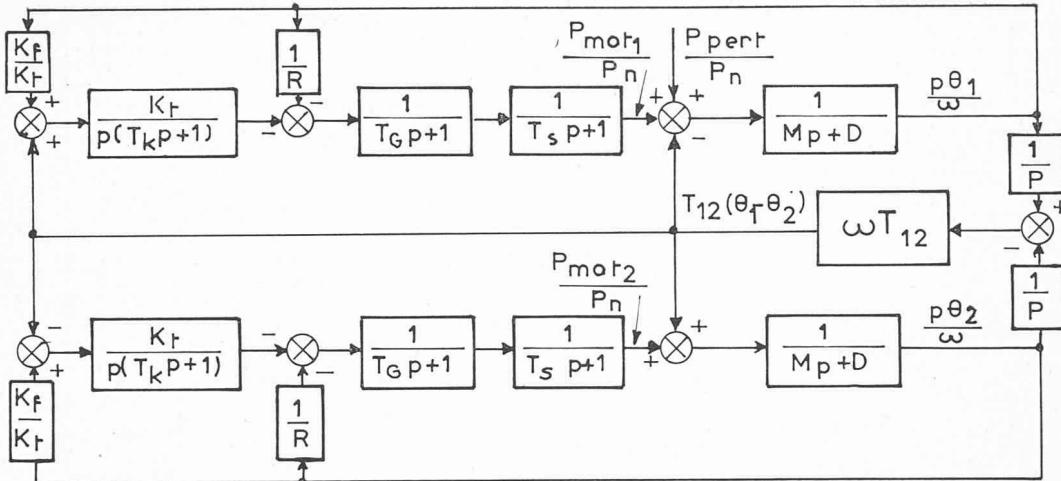


Fig. 2.  
Schéma fonctionnel  
du modèle simplifié.

### I-5-2 Modèle simplifié

L'hypothèse (5) entraîne la suppression des indices des paramètres suivants :

$$M, D, P_n, E, K_t, K_f, T_k, T_s, T_c, R.$$

Les conclusions (1) permettent d'écrire, dans le cas d'une perturbation de 1 %, que :

$$(5'') \begin{cases} \theta_1 - \theta_2 \sim \sin(\theta_1 - \theta_2) \\ E^2 \left( \frac{\cos \psi_{22}^0}{Z_{22}^0} - \frac{\cos \psi_{22}}{Z_{22}} \right) = 0. \end{cases}$$

En posant :

$$(5''') \begin{cases} T_{12} = \frac{E^2}{Z_{12}} \frac{1}{P_n} \\ P_{pert} = E^2 \left( \frac{\cos \psi_{11}^0}{Z_{11}^0} - \frac{\cos \psi_{11}}{Z_{11}} \right) \end{cases}$$

On aboutit

$$(6) \begin{cases} (Mp + D) \frac{p\theta_1}{\omega} = \frac{P_{m1}}{P_n} - T_{12}(\theta_1 - \theta_2) + \frac{P_{pert}}{P_n} \\ - \frac{K_t}{p(1 + T_k p)} \left\{ T_{12}(\theta_1 - \theta_2) - \frac{P_{pert}}{P_n} \right\} \\ - \left\{ \frac{K_f}{p(1 + T_k p)} + \frac{1}{R} \right\} \frac{p\theta_1}{\omega} = (1 + T_c p) \frac{P_{m1}}{P_n} \\ (1 + T_s p) \frac{P_{m1}}{P_n} \\ (Mp + D) \frac{p\theta_2}{\omega} = \frac{P_{m2}}{P_n} - T_{12}(\theta_2 - \theta_1) \\ - \frac{K_t}{p(1 + T_k p)} \cdot T_{12}(\theta_2 - \theta_1) - \left\{ \frac{K_f}{p(1 + T_k p)} + \frac{1}{R} \right\} \\ \frac{p\theta_2}{\omega} = (1 + T_c p) (1 + T_s p) \frac{P_{m2}}{P_n} \end{cases}$$

Ce système d'équations représente le modèle mathématique simplifié. Il se rapporte au schéma fonctionnel de la figure 2.

### I-5-3 Modèle général

Seules les hypothèses (5) et (5') sont conservées.

Compte tenu de (5), on écrit à partir de (2) et (4) :

$$\begin{aligned} (Mp + D_1) \frac{p\theta_1}{\omega} &= \frac{P_{m1}}{P_{n1}} - \frac{1}{P_{n1}}. \\ \left\{ \frac{E_1^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{E_1^2}{Z_{11}^0} \cos \psi_{11}^0 \right\} + \frac{1}{P_{n1}}. \\ \left\{ \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}^0} \cos \psi_{12}^0 \right\} \\ - \frac{K_1 t}{p(1 + T_{k1} p)} \left\{ \frac{1}{P_{n1}} \left[ \frac{E_1^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{E_1^2}{Z_{11}^0} \cos \psi_{11}^0 \right] \right. \\ \left. - \frac{1}{P_{n1}} \left[ \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \cos(\theta_1 - \theta_2 + \psi_{12}) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}^0} \cos \psi_{12}^0 \right] \right\} - \left\{ \frac{K_1 f}{p(1 + T_{k1} p)} + \frac{1}{R_1} \right\} \frac{p\theta_1}{\omega} \\ = (1 + T_{c1} p) (1 + T_{s1} p) \frac{P_{m1}}{P_{n1}} \\ (Mp + D_2) \frac{p\theta_2}{\omega} &= \frac{P_{m2}}{P_{n2}} - \frac{1}{P_{n2}}. \\ \left\{ \frac{E_2^2}{Z_{22}} \cos \psi_{22} - \frac{E_2^2}{Z_{22}^0} \cos \psi_{22}^0 \right\} + \frac{1}{P_{n2}}. \\ \left\{ \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{12}) - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}^0} \cos \psi_{12}^0 \right\} \\ - \frac{K_2 t}{p(1 + T_{k2} p)} \left\{ \frac{1}{P_{n2}} \left[ \frac{E_2^2}{Z_{22}} \cos \psi_{22} - \frac{E_2^2}{Z_{22}^0} \cos \psi_{22}^0 \right] \right. \\ \left. - \frac{1}{P_{n2}} \left[ \frac{E_1 E_2}{Z_{12}} \cos(\theta_2 - \theta_1 + \psi_{12}) - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{E_1 E_2}{Z_{12}^0} \cos \psi_{12}^0 \right] \right\} - \left\{ \frac{K_2 f}{p(1 + T_{k2} p)} + \frac{1}{R_2} \right\} \frac{p\theta_2}{\omega} \\ = (1 + T_{c2} p) (1 + T_{s2} p) \frac{P_{m2}}{P_{n2}}. \end{aligned}$$

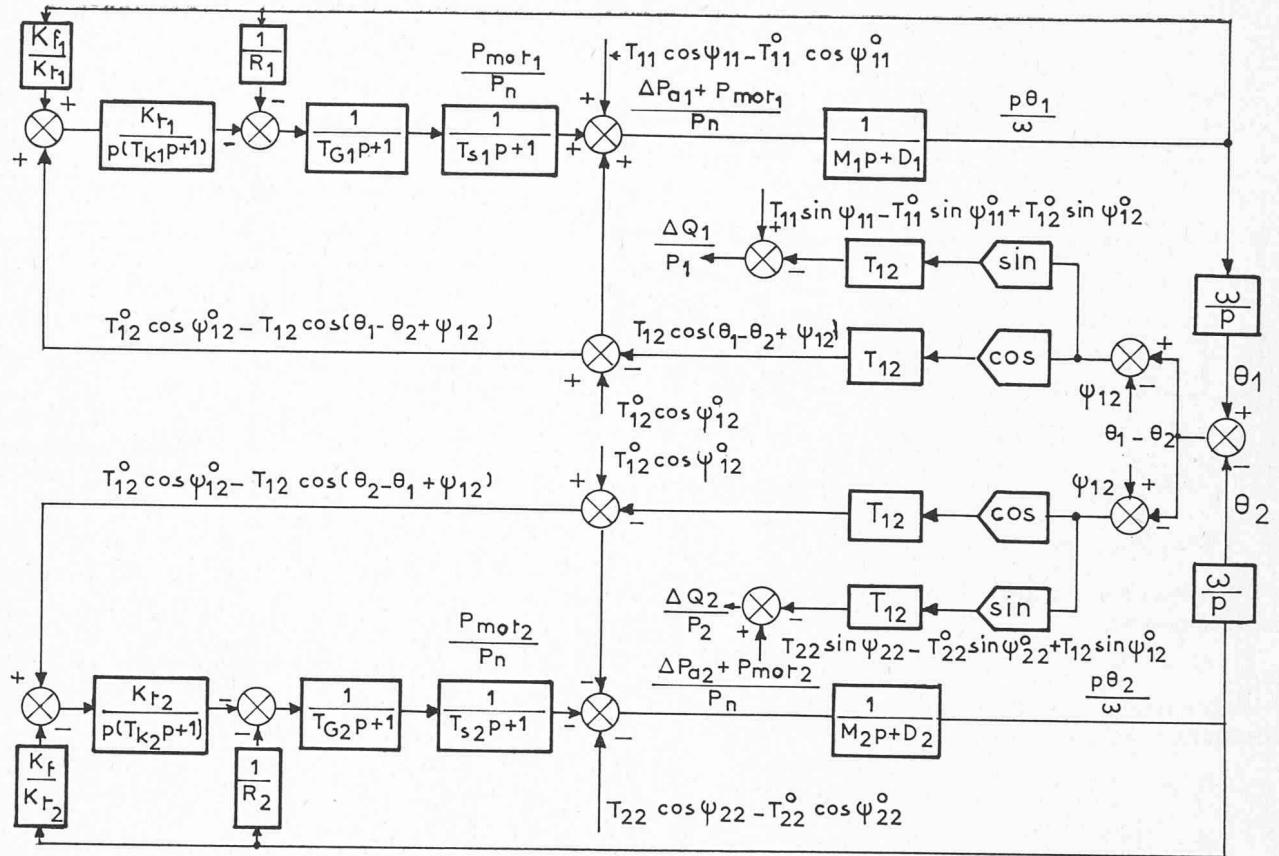


Fig. 3. — Schéma du modèle général.

*Remarque.* — C'est par abus de langage que ce modèle est appelé modèle général. Il faudrait pour cela que  $\theta_1^0 \neq \theta_2^0$  et alors ces paramètres figureraient dans le dernier terme des équations (1) et (3) du système (7).

Ce modèle se rapporte au schéma fonctionnel de la figure 3.

*Remarque.* — Ce schéma permet, comme indiqué, d'étudier le comportement des variations de puissance réactive.

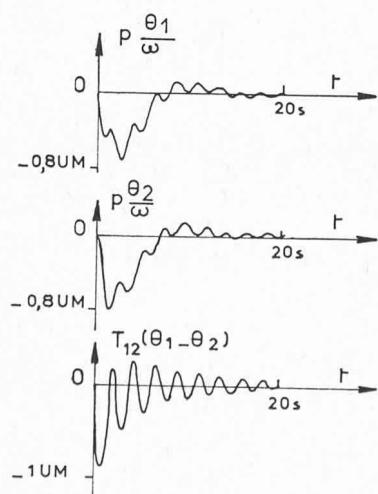


Fig. 4. — Courbes de réponse des variations de fréquence et puissance échangée.

Perturbation sur le réseau 1.

Paramètres :  $K_t = 0,3$  ;  $K_f = 2$  ;  $R = 0,15$ .

Influence du gain  $K_f$  sur la variation de puissance échangée  
Carré de la puissance échangée  
Intégrale du carré de la puissance échangée

## II. Moyens d'étude

### II-1 Calcul numérique

On a établi un programme permettant un calcul rapide, à partir des données des ouvrages électriques. Il a permis de déterminer toutes les grandeurs nécessaires et en particulier le calcul des impédances avant et après perturbation.

### II-2 Calcul analogique

Les schémas fonctionnels 2 et 3 ont été simulés sur calculatrice analogique. Nous avons enregistré les courbes nécessaires à l'analyse.

## III. Résultats obtenus

### III-1 Modèle simplifié

Les enregistrements obtenus concernent les variations de fréquence et de puissance échangée sous l'effet d'une perturbation de 1 %. On a également relevé les courbes de réponse en puissance échangée, leur carré et l'intégrale de ce carré, pour différentes valeurs des gains.

*Réponse des variations de fréquence et de puissance échangée*  
Courbes 4, 4', 4''.

Perturbation dans le réseau 1. — Paramètres  $\begin{cases} K_t = 0,3 \\ K_f = 2 \\ R = 0,16 \end{cases}$

On a un retour à zéro au transitoire près.

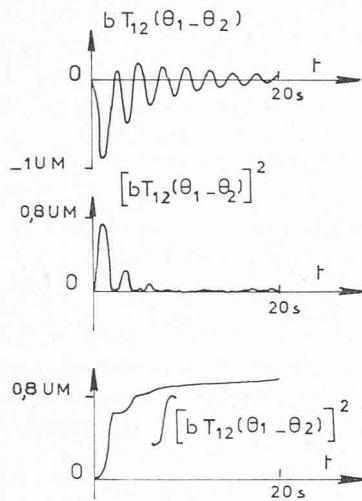


Fig. 5. — Paramètres :  $K_f = 2$  ;  $K_t = 0,3$  ;  $R = 0,16$ .

#### Influence des gains sur les variations de puissance échangée

##### Influence de $K_t$ — Courbes 5, 6

$$\begin{cases} K_f = 2 & (5) \\ K_f = 4 & (6) \end{cases} \quad K_t = 0,3 ; R = 0,16$$

La comparaison montre qu'une augmentation de  $K_f$  améliore la réponse.

##### Influence de $K_t$ — Courbes 5, 7

$$\begin{cases} K_t = 0,3 & (5) \\ K_t = 0,6 & (7) \end{cases} \quad K_f = 2 ; R = 0,16$$

Une augmentation du gain améliore aussi la réponse.

##### Comparaison des influences des gains $K_f$ et $K_t$

On peut penser qu'il existe un couple  $(K_f, K_t)$  rendant la réponse optimale.

Dans le cas de l'influence de  $K_t$ , on a une meilleure performance (intégrale du carré), et la fréquence des oscillations est plus petite.

##### Influence de l'action $P$ — Courbe 8

$$K_t = 0,3 ; K_f = 8 ; R = 0,05.$$

En augmentant  $K_f$  et réduisant  $R$ , on constate que l'action  $P$  a une influence bien moindre que  $K_f$  ou  $K_t$ .

##### Action simultanée de $K_f$ et $K_t$ — Courbe 9

$$K_f = 1 ; K_t = 0,16 ; R = 0,16.$$

En réduisant les deux gains  $K_t$  et  $K_f$  avec  $R = C^{\text{te}}$ , on améliore la réponse.

#### Remarques

La courbe 5 a été prise comme élément de comparaison.  
La courbe 6 représente la meilleure réponse.

#### Variations de fréquence dans le plan de phase — Courbes 10, 10'

$$K_t = 0,3 ; K_f = 2 ; R = 0,16.$$

Le réseau 2 répond plus vite.

#### III-2 Cas général

Les enregistrements obtenus concernent :

— les variations en fréquence dans les réseaux 1 et 2 en asservissement en puissance injectée et en puissance

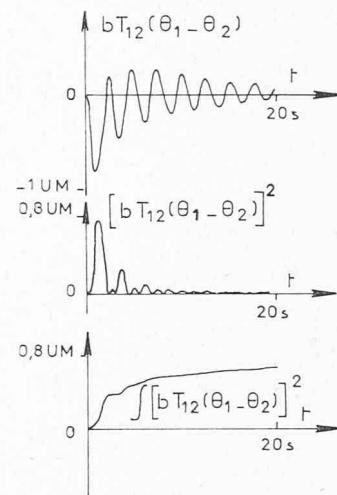


Fig. 6. — Paramètres :  $K_f = 4$  ;  $K_t = 0,3$  ;  $R = 0,16$ .  
Influence du gain  $K_t$  —  $d^o$

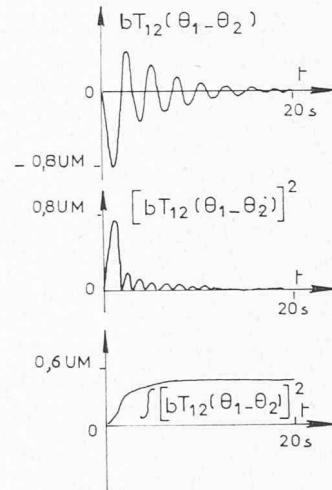


Fig. 7. — Paramètres :  $K_t = 0,6$  ;  $K_f = 2$  ;  $R = 0,16$   
(à comparer avec la figure 5).  
Influence de l'action  $P$

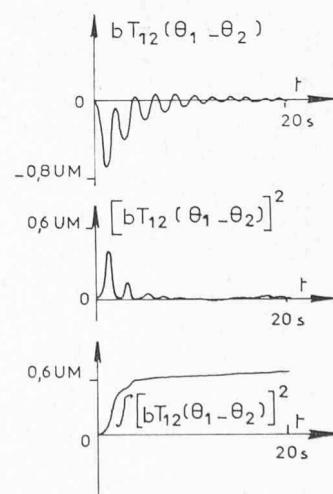


Fig. 8. — Paramètres :  $K_t = 0,3$  ;  $K_f = 8$  ;  $R = 0,05$ .  
Action simultanée de  $K_f$  et  $K_t$

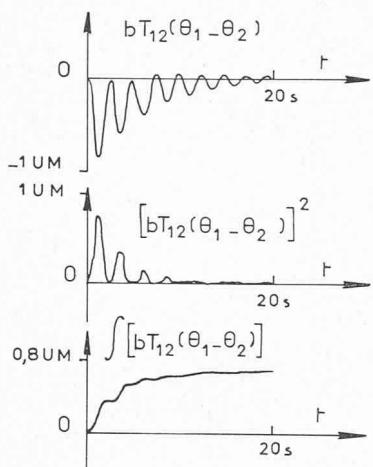


Fig. 9. — Paramètres :  $K_f = 1$  ;  $K_t = 0,16$  ;  $R = 0,16$  (à comparer avec la figure 5).

Variation de fréquence dans le plan de phase

échangée, pour une perturbation de 1 % dans l'un ou l'autre ;

- les variations de puissance active et réactive ;
- l'influence de l'argument  $\psi_{12}$  sur la réponse de puissance échangée.

### III-2-1 Influence d'une perturbation sur les réponses en variation de fréquence, de puissances active et réactive

$K_t = 2$  ;  $K_f = 3$  ;  $R = 0,16$ .

La perturbation sera de 1 % sauf précision ultérieure.

*Influence d'une perturbation sur les réseaux 2 et 1 à la suite d'une perturbation sur l'autre réseau, en variation de fréquence*

Fonctionnement en puissance injectée — courbes 11, 12 la réponse présente un écart de position.

Fonctionnement en puissance échangée — courbes 11', 12' la réponse retourne au zéro au transitoire près.

*Remarque.* — On a obtenu des courbes de réponses semblables à celles obtenues à l'aide du modèle simplifié.

*Influence de la perturbation sur le réseau 1 sur l'inversion de puissance active — courbes 13, 13'*

- en puissance injectée 13 :  
la réponse présente une erreur de position ;
- en puissance échangée 13' :  
retour au zéro au transitoire près.

*Remarque.* — La courbe 13' est semblable à celle obtenue à l'aide du modèle simplifié, la réponse étant meilleure dès les premiers instants de la perturbation.

*Influence de la variation de perturbation sur les variations en fréquence — courbes 14, 14'*

Perturbation sur le réseau 1.

Les réponses retournent au zéro au transitoire près.

La courbe 14 est à rapprocher de la courbe 12' (perturbation 1 %) et on remarque que les amplitudes des oscillations sont plus faibles sur 14 que sur 12', ce qui est normal puisqu'on a affiché une perturbation plus faible.

*Influence de la perturbation sur :*

- la variation de puissance active — courbes 15, 15'
- la variation de puissance réactive — courbes 16, 16'

Courbe 15 :

L'excès de puissance est fourni par le réseau 1.

Courbe 15' :

La contribution apportée par le réseau est nulle au transitoire près.

*Remarque.* — Cela est conforme, dans le cas d'une faible perturbation, et correspond bien à ce qui avait été déduit à l'aide des variations d'impédance dans le cas du premier modèle.

Courbe 16 }  
Courbe 16' } mêmes constatations que ci-dessus.

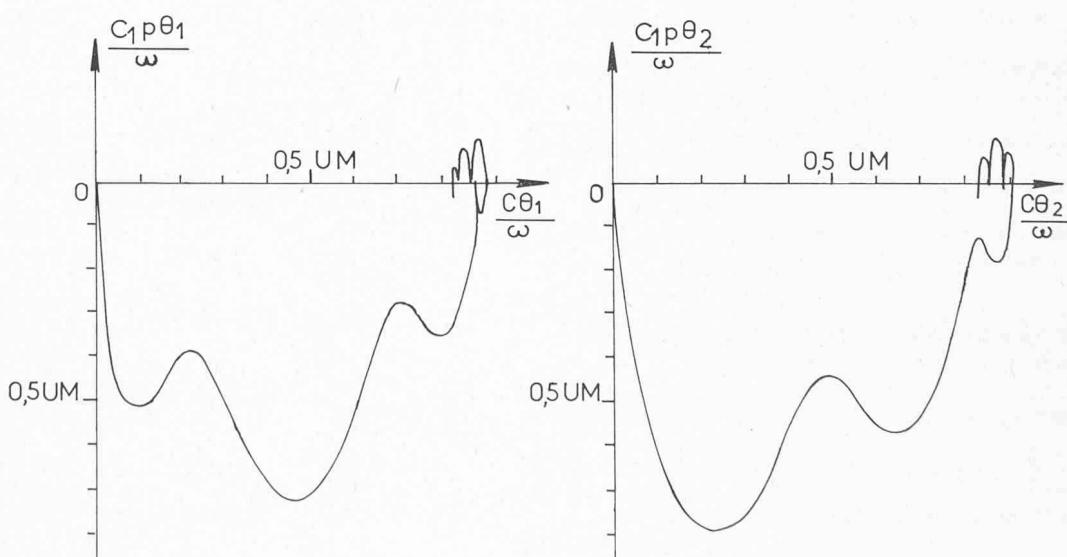


Fig. 10. — Paramètres :  $K_t = 0,3$  ;  $K_f = 2$  ;  $R = 0,16$ .

Courbes de réponse des variations de fréquence, de puissance active et réactive

Paramètres :  $K_t = 2$  ;  $K_f = 3$  ;  $R = 0,16$   
(l'indice prime est relatif aux figures de droite).

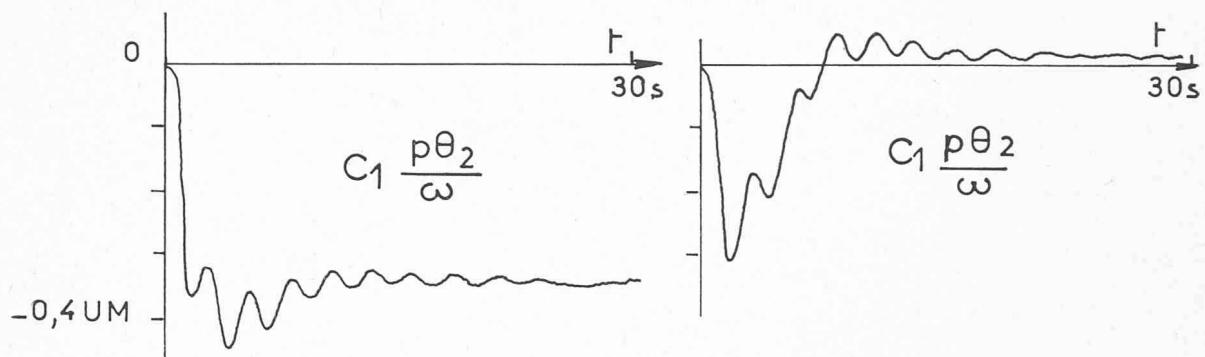


Fig. 11. — Fonctionnement en puissance injectée.

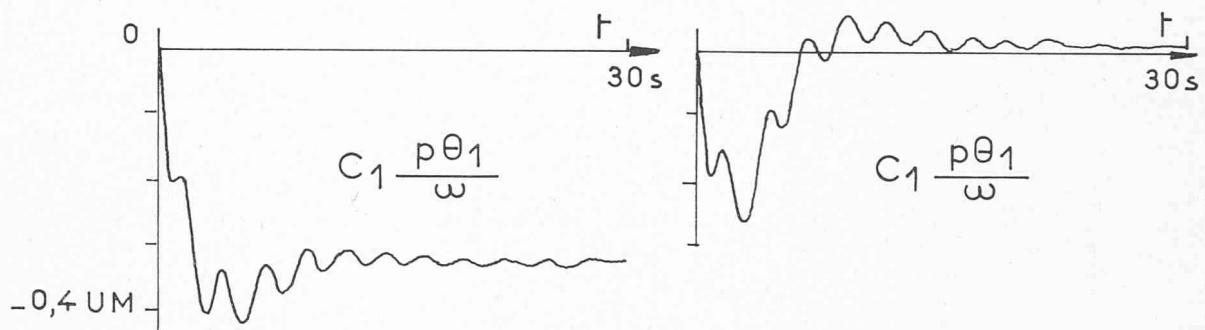


Fig. 12. — Fonctionnement en puissance injectée.

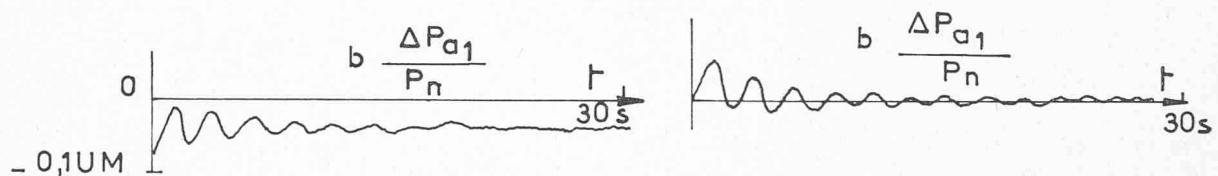


Fig. 13. — Perturbation sur réseau 1 et influence sur l'inversion de puissance active

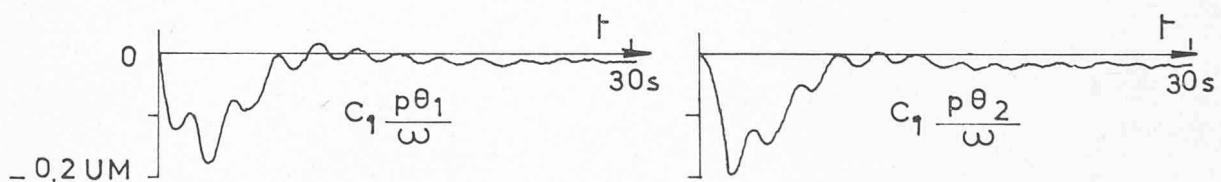


Fig. 14. — Variation de perturbation.

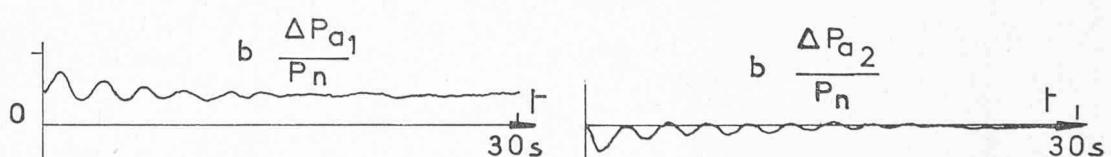


Fig. 15. — Influence de la perturbation sur la tension de puissance active.

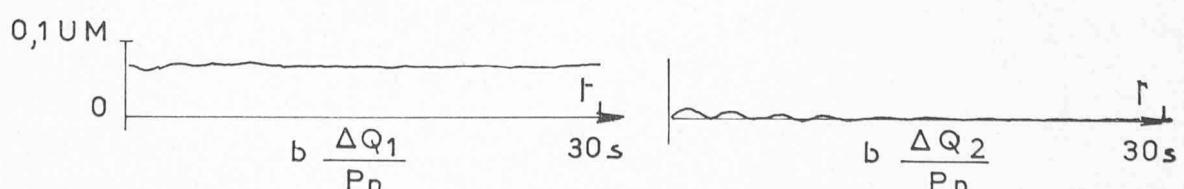


Fig. 16. — Influence de la perturbation sur la tension de puissance réactive.  
Influence de  $\psi_{12}$  — Paramètres :  $K_f = 2$  ;  $K_t = 3$  ;  $R = 0,16$ .

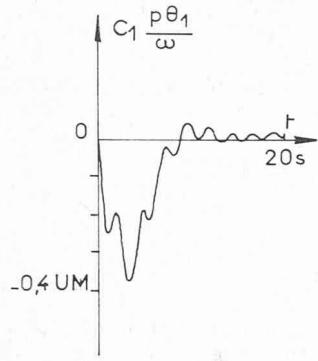


Fig. 17. —  $\psi_{12} = 90^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0 = T_{12} \cos \psi_{12}$ .

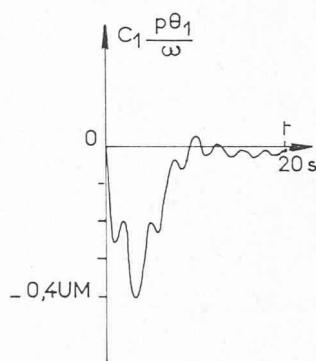


Fig. 18. —  $\psi_{12} = 72,4^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,03 = T_{12} \cos \psi_{12}$ .

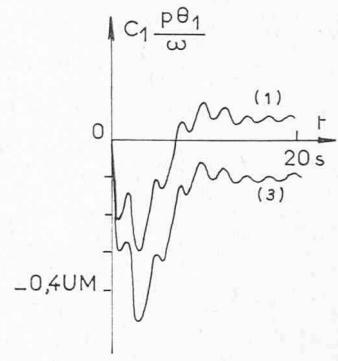


Fig. 19. —  $\psi_{12} = 72,4^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,031 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,029 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

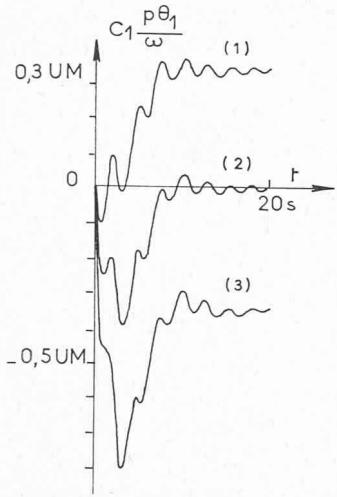


Fig. 20. —  $\psi_{12} = 53,4^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,054 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,05 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (2)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,046 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

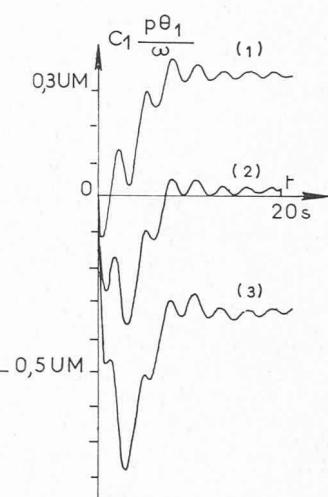


Fig. 21. —  $\psi_{12} = 44,8^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,074 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,07 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (2)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,066 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

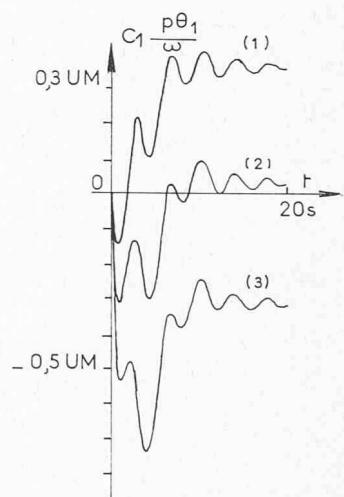


Fig. 22. —  $\psi_{12} = 24,8^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,094 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,09 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (2)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,086 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

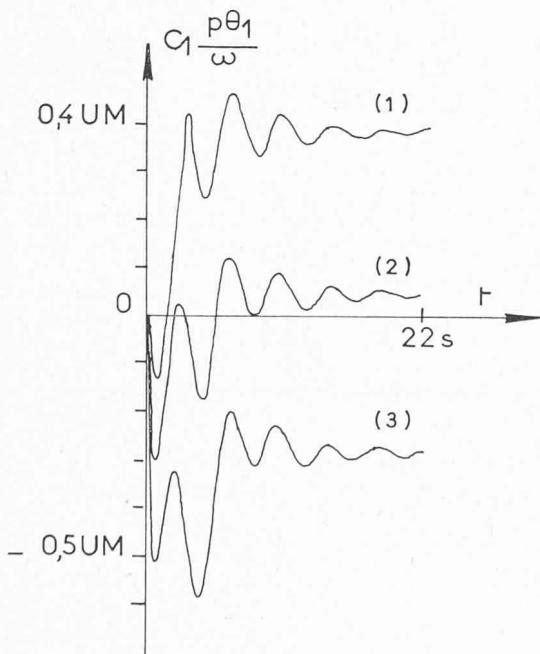


Fig. 23. —  $\psi_{12} = 18,5^\circ$ ;  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,099 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,095 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (2)  
 $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 = 0,091 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

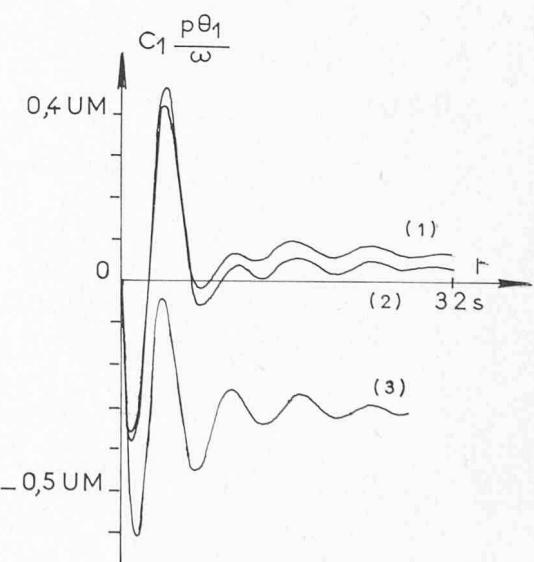


Fig. 24. —  $\psi_{12} = 9^\circ$ ;  
 $T_{12} \cos \psi_{12}^0 = 0,0985 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (1)  
 $T_{12} \cos \psi_{12}^0 = 0,098 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (2)  
 $T_{12} \cos \psi_{12}^0 = 0,094 = T_{12} \cos \psi_{12}$ , (3)

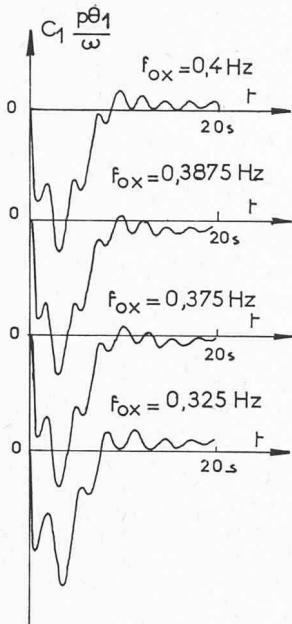


Fig. 25. — Variation des fréquences d'oscillations (déduites des courbes 17 à 24).  
Influence des gains  $K_f$  et  $K_t$   
Paramètres :  $K_f = 1/10 \cdot 2$  ;  $K_t = 1/10 \cdot 3$  ;  $R = 0,16$ .

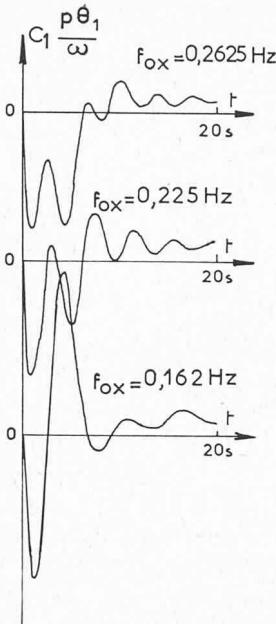


Fig. 26. — Pour  $\psi_{12} = 90^\circ$ .

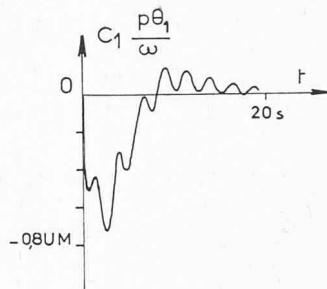


Fig. 27. — Pour  $\psi_{12} = 72,4^\circ$ .

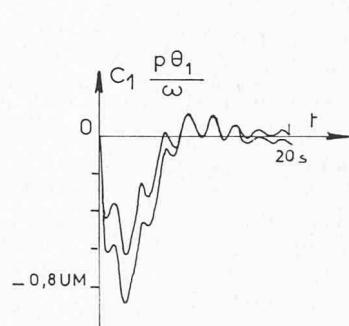


Fig. 28. — Pour  $\psi_{12} = 72,4^\circ$ .

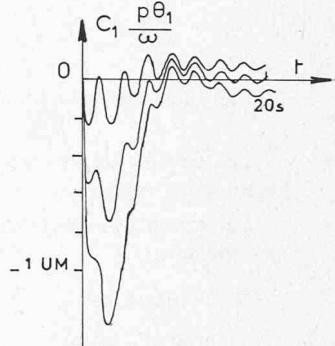


Fig. 29. — Pour  $\psi_{12} = 59,4^\circ$ .

### III-2-2 Influence de $\psi_{12}$ — courbes 17 à 24

$$K_f = 2 ; K_t = 3 ; R = 0,16.$$

La variation de  $\psi_{12}$  étant progressive des courbes 17 à 24, on analysera l'ensemble. On en déduit les constatations suivantes :

- un écart entre  $T_{12} \cos \psi_{12}$  et  $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0$  se traduit par une erreur de position ;
- pour  $[T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0 - (-T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0)]$  cte la somme « absolue » de ces erreurs de position est constante et ne dépend que de la différence entre  $T_{12} \cos \psi_{12}$  et  $T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0$  ;
- pour  $\psi_{12}$  diminuant, on observe une translation de ces erreurs de position vers le haut ;
- pour  $\psi_{12}$  diminuant, l'erreur de position par rapport au régime permanent augmente ;
- pour  $\psi_{12}$  diminuant, la fréquence des oscillations diminue ;
- pour  $\psi_{12}$  diminuant, l'amplitude des oscillations augmente.

Donc si  $\psi_{12}$  diminue, on a :

- amélioration de l'amortissement ;
- diminution de la fréquence d'oscillations ;
- augmentation de l'écart de position.

*Remarque.* — Les courbes 25 reproduisent les courbes précédentes et montrent la variation des fréquences d'oscillation.

### III-2-3 Influence de $K_f$ , $K_t$ et $\psi_{12}$ — courbes 26 à 33

$$K_f = \frac{1}{10} \cdot 2 ; K_t = \frac{1}{10} \cdot 3 ; R = 0,16.$$

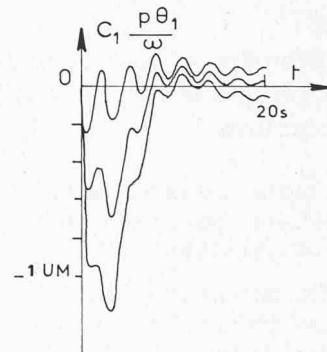


Fig. 30. — Pour  $\psi_{12} = 44,8^\circ$ .

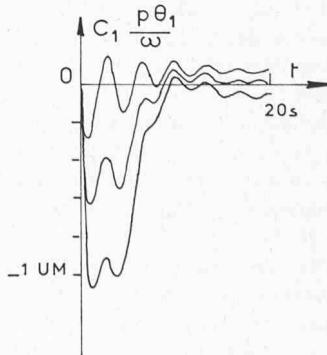


Fig. 31. — Pour  $\psi_{12} = 24,8^\circ$ .

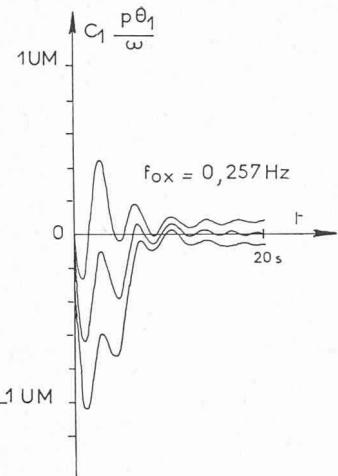


Fig. 32. — Pour  $\psi_{12} = 18,5^\circ$ .

Les gains ont été réduits dans le rapport  $\frac{1}{10}$ .

Les valeurs  $T_{12} \cos \psi_{12}$  sont les mêmes que précédemment pour même  $\psi_{12}$ .

Les écarts absolus entre  $T_{12} \cos \psi_{12}$  et  $T_{12} \cos \psi_{12}^0$  sont les mêmes.

On constate que :

— pour  $T_{12} \cos \psi_{12} = T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0$  on n'a plus d'erreur de position, la réponse retournant au zéro au transitoire près ;

— que  $T_{12} \cos \psi_{12} - (-T_{12}^0 \cos \psi_{12}^0) = C^t$  est réduit par rapport au cas précédent ;

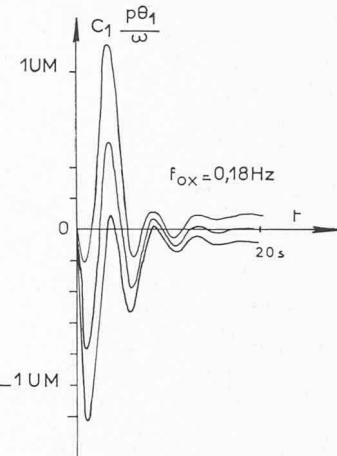


Fig. 33. — Pour  $\psi_{12} = 9^\circ$ .

— que si les fréquences d'oscillations sont légèrement plus élevées, elles n'influencent pas la réponse.

#### Remarques

La perturbation est toujours de 1 %.

L'argument  $\psi_{12}$  est lié à la puissance échangée, c'est-à-dire de façon indirecte à la puissance de perturbation.

Nous remercions M. Michel Cuénod de nous avoir suggéré l'idée de cette recherche. (A suivre).

Adresse des auteurs :

Laboratoire d'automatique et de ses applications spatiales  
du CNRS  
7, avenue du Colonel-Roche, BP. 4036, 31 - Toulouse.

## Divers

### Mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine de la construction

#### Extrait de la lettre circulaire adressée par le DFI aux écoles et associations professionnelles du bâtiment et génie civil

Donnant suite à un postulat déposé au Conseil national et accepté le 3 juin 1969 par le Conseil fédéral, le Département fédéral de l'intérieur a édicté le 12 novembre 1970 des directives concernant les mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine construit, directives que vous trouverez en annexe. Elles ont pour but de rendre les constructions et voies de communication établies ou subventionnées par la Confédération mieux accessibles aux handicapés et aux personnes âgées. Les directives se limitent à dessein à des exigences relativement peu nombreuses, mais importantes, auxquelles il peut être répondu sans trop de frais.

Sur le plan technique, les directives se réfèrent dans une large mesure à la norme « SNV 521 500 logements pour infirmes moteurs » du Centre suisse d'études pour la rationalisation du bâtiment (CRB), Torgasse 4, 8001 Zurich. Le projet élaboré par la direction des constructions fédérales a été soumis, dans sa phase préparatoire, non seulement à 21 services de la Confédération et à 6 organisations d'utilité publique, mais aussi à la Conférence des directeurs des travaux publics, dont le comité a déclaré dans une lettre du 16 février 1970 qu'il soutenait nos efforts.

### Extrait des directives concernant les mesures à prendre en faveur des handicapés physiques dans le domaine de la construction

(Du 12 novembre 1970)

#### Introduction

En Europe, les handicapés physiques représentent 4 à 6 pour cent de la population comprise entre 15 et 60 ans. Il y a des infirmités congénitales ; d'autres sont dues à la maladie (rhumatismes, poliomyélite, sclérose en plaques, discopathie, troubles cardiaques ou circulatoires, etc.) ou aux accidents (paraplégie). Certains handicapés en sont réduits au fauteuil roulant ; d'autres se déplacent à l'aide de bâquilles ou de cannes. Beaucoup d'infirmités ne sont pas apparentes au premier abord, soit parce qu'elles affectent des organes internes, soit parce que les vêtements les recouvrent. L'intégration de ces invalides, encouragée résolument sur les plans médical, scolaire, professionnel et social, échoue souvent devant les « barrières architecturales », comme les appellent les handicapés. En effet, point n'est besoin d'un monumental escalier extérieur pour arrêter un invalide ; une seule marche à l'entrée d'un bâtiment peut être pour lui un obstacle infranchissable. Souvent une bordure de trottoir suffit pour lui barrer le passage. Pour l'infirmier qui circule dans un fauteuil roulant, l'ascenseur est inutilisable si des marches lui en barrent l'accès. On sait que ces obstacles constituent pour l'infirmier un problème social, tant il est vrai qu'elles le contraignent à végéter dans la solitude de son logis, à l'écart de la société.

Dans le même ordre d'idées, il faut considérer le vieillissement croissant de la population (11 % de notre popula-