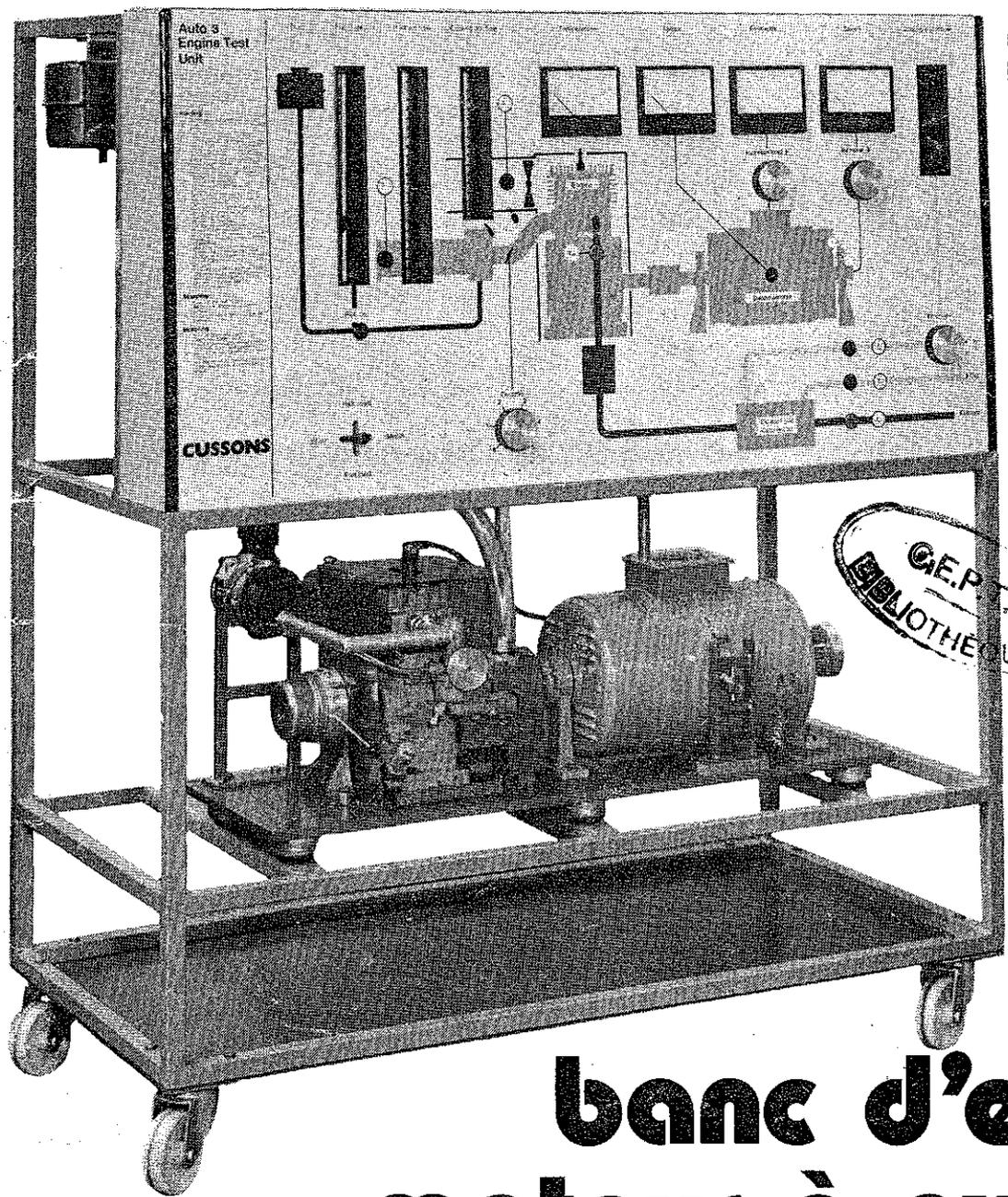


18 SEP. 1975

L'INGÉNIEUR ^{P. 61} et le technicien DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

BIMESTRIEL - PRIX DU N° : 9 F

30^e ANNÉE - N° 191 MAI - JUIN 1975



Voir sommaire
page 3

Matlabo

banc d'essai de moteur à explosion

Voir page 33

Les chaînes de cotes de fabrication

« mode opératoire »

2^e partie

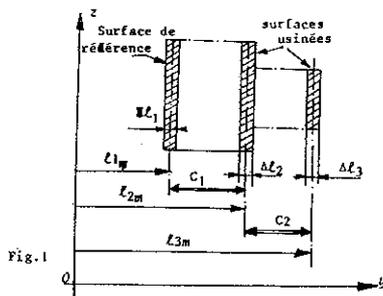
par

P. Bourdet,
Professeur à l'E.N.S.E.T.

Reprenant l'étude publiée dans notre n° 180 (Novembre/Décembre 1973), l'auteur en présente le développement à caractère automatique et traitable sur ordinateur.

Des exemples seront publiés dans nos prochains numéros.

MODELE FONDAMENTAL : (rappels)



On considère comme indissociable le couple pièce-machine outil.

Chaque pièce de la série a une position unique dans le repère fixe lié à la machine-outil. L'enveloppe des positions de la surface de référence des pièces de la série en projection sur un axe oy définit l'écart ΔL_1 de mise en position de la série dans le repère fixe.

L'écart ΔL_1 positionné sur l'axe oy par la distance moyenne L_{1m} donnent la cote $L_1 (L_{1m}, \Delta L_1)$.

D'autre part, la (ou les) surface (s) usinée (s) occupe (nt) dans ce même repère une position pour chaque pièce. L'enveloppe de ces positions pour la série définie en projection sur l'axe oy , l'écart d'usinage ΔL_2 positionné par la distance moyenne L_{2m} . Soit la cote $L_2 (L_{2m}, \Delta L_2)$.

Ainsi, chaque cote fabriquée sur une pièce est le produit d'une combinaison de cotes indépendantes. Par exemple, la cote fabriquée C_1 est le produit d'une cote de mise en position de la surface de référence L_1 et d'une cote de mise en position de la surface usinée L_2 , la cote fabriquée C_2 est le produit de deux cotes de mise en position de surfaces usinées L_2 et L_3 .

$$C_1 = (L_1, L_2)$$

$$C_2 = (L_2, L_3)$$

APPLICATION

L'objet de l'étude étant la cotation de fabrication unidirectionnelle, on acceptera tel quel le choix plus ou moins judicieux du procédé d'usinage proposé par le gammiste.

Exemple 1

A. — Première partie

Pour simplifier ce premier exemple, on s'intéresse aux trois sous-phases de finition des surfaces à l'exception du filetage.

La gamme proposée donne :

— **Première sous-phase** : sur machine à centrer deux têtes et dresser une face : dressage de la face A et perçage des deux centres (plans de jauge B et H).

— **Deuxième sous-phase** : une pièce sur tour parallèle montée entre pointes, finition des surfaces E F G I.

— **Troisième sous-phase** : une pièce sur tour parallèle montée entre pointes, finition des surfaces C et D.

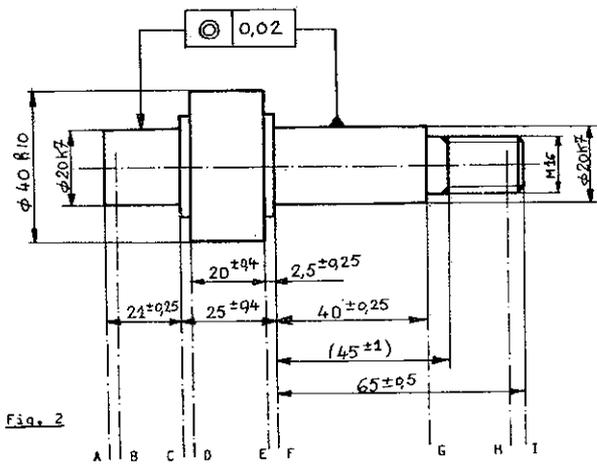


Fig. 2

Pour chaque sous-phase (fig. 3) on met en place suivant l'axe oy (cas du tournage) du repère fixe lié au bâti de la machine-outil modélisé en solide élastique, la position l_{mi} et la variation Δl_i de chaque surface usinée et de la surface de mise en position de la prise de pièce sur la machine. Dans un but de simplification, les longueurs moyennes l_{mi} seront notées l_i .

Sous-phase 10 :

- $l_1, \Delta l_1$, mise en position de la surface usinée A.
- $l_2, \Delta l_2; l_3, \Delta l_3$ mise en position des centres.
- $l_4, \Delta l_4$ mise en position de la pièce (butée sur surface « brute »).

Sous-phase 20 :

- $l_6, \Delta l_6$ mise en position de la pièce (plan de jauge B).
- $l_7, \Delta l_7; l_8, \Delta l_8; l_9, \Delta l_9$ mise en position des surfaces usinées E, F, G, I.

Sous-phase 30 :

- $l_{10}, \Delta l_{10}$ mise en position de la pièce (plan de jauge H).
- $l_{11}, \Delta l_{11}; l_{12}, \Delta l_{12}$ mise en position des surfaces usinées D et C.

L'ensemble L des cotes $L_1 (l_1, \Delta l_1) \dots L_{12} (l_{12}, \Delta l_{12})$ ainsi mises en place sont indépendantes. On peut donc exprimer toute cote fabriquée de la pièce en fonction de cet ensemble L.

Le choix des valeurs à attribuer aux cotes de l'ensemble L est imposé par la condition suivante :

toute cote fabriquée doit être incluse dans la cote de B.E. correspondante.

En choisissant systématiquement les mêmes cotes moyennes sur les cotes fabriquées et sur les cotes de B.E.-A toute cote de B.E. correspond une équation entre les longueurs moyennes, et à toute cote bilimitée de B.E. correspond une inéquation entre les Δl_i .

Dans cet exemple, 6 cotes bilimitées sont imposées par le B.E. (la condition 45 ± 1 n'intervenant qu'au filetage).

1° **Inéquations sur les Δl_i** : ces inéquations sont obtenues à partir des figures 2 et 3.

a) **tolérance ΔC_{η} obtenue sur la pièce.**

Par convention, nous appellerons ΔC_{η} la tolérance obtenue sur la pièce fabriquée correspondante à la cote C_{η} du dessin.

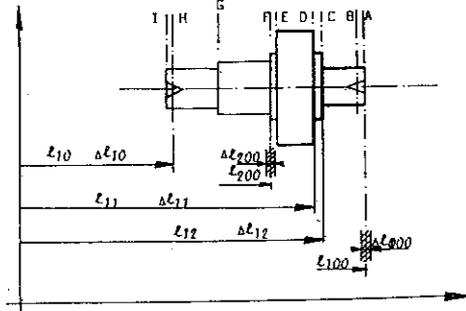
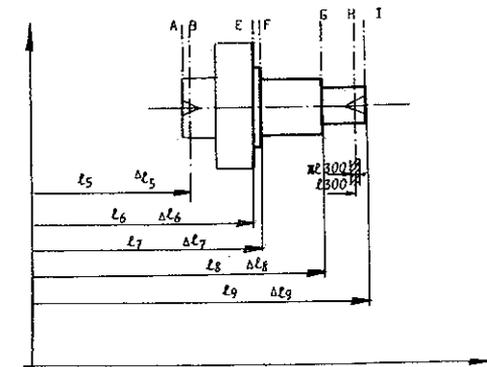
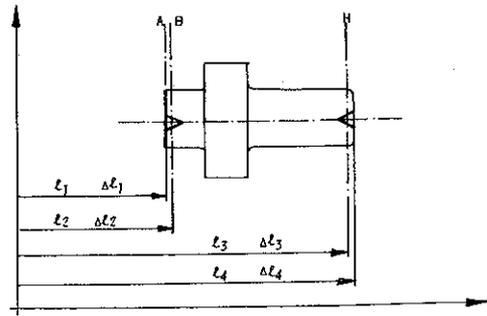


Fig. 3

Sous-phase 20 $\Delta C_{65} (F I) = \Delta l_7 + \Delta l_9$

Sous-phase 20 $\Delta C_{50} (F G) = \Delta l_7 + \Delta l_8$

Sous-phase 20 $\Delta C_{2,5} (Z F) = \Delta l_7 + \Delta l_6$

Sous-phase 30 $\Delta C_{21} (A C) = \Delta l_{12} + \Delta l_{10}$

Δl_{100} variable auxiliaire : correspondant à la variation de mise en position de la surface A dans le repère 30. Exprimons Δl_{100} en fonction des variables de l'ensemble L :

Δl_{100} = variation de mise en position de la pièce dans le repère 30 : Δl_{10} (plan de jauge H).

+ variation de la longueur entre le plan de jauge H et la surface A, variation obtenue dans le repère 10 :

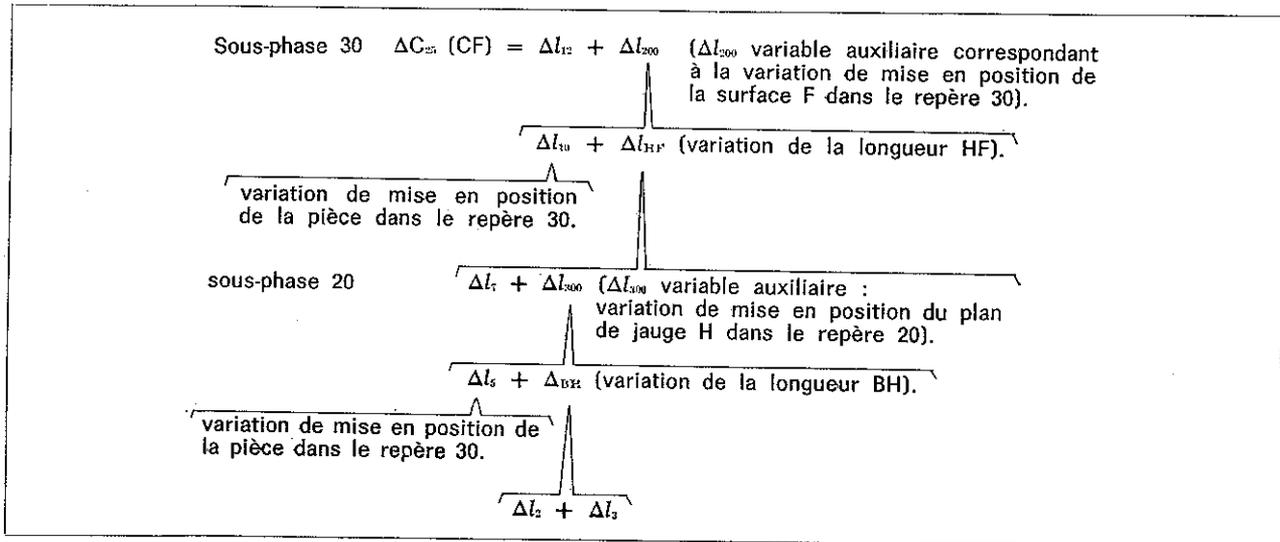
$\Delta l_3 + \Delta l_1$ soit en résumé

$$\Delta C_{21} = \Delta l_{12} + \Delta l_{100}$$

sous-phase 30 $\Delta l_{10} + \Delta C_{HA}$ variation de la longueur HA

sous-phase 10 $+ \Delta l_1 + \Delta l_3$

et $\Delta C_{21} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_1 + \Delta l_3$



soit

$$\Delta C_{25} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_7 + \Delta l_5 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

De la même façon, on obtient :

$$\Delta C_{20} (DE) = \Delta l_{11} + \Delta l_{10} + \Delta l_5 + \Delta l_5 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

Remarque : cette mise en équations sera simplifiée par l'utilisation d'un tableau (voir plus loin, même exemple, paragraphe B) mais tous les éléments de l'ensemble L sont indépendants et ne sont associés qu'à des surfaces réelles. Dans chaque application, cet énoncé devra être vérifié, principalement dans le cas de cote-outil (que l'on peut considérer comme un outil de forme) et dans le cas de plan ou d'axe de symétrie.

b) Dans l'hypothèse où toutes les pièces de la série sont dans les tolérances imposées par le dessin de définition, chaque cote fabriquée doit être incluse dans la cote imposée par le bureau d'étude et (*) :

$$\Delta C_{15} \leq IT_{15} \text{ soit } \Delta C_{15} = \Delta l_7 + \Delta l_5 \leq 1 \quad (1)$$

$$\Delta C_{10} \leq IT_{10} \text{ soit } \Delta C_{10} = \Delta l_7 + \Delta l_5 \leq 0,5 \quad (2)$$

$$\Delta C_{2,5} \leq IT_{2,5} \text{ soit } \Delta C_{2,5} = \Delta l_7 + \Delta l_5 \leq 0,5 \quad (3)$$

$$\Delta C_{21} \leq IT_{21} \text{ soit } \Delta C_{21} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_1 + \Delta l_3 \leq 0,5 \quad (4)$$

$$\Delta C_{25} \leq IT_{25} \text{ soit } \Delta C_{25} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_7 + \Delta l_5 + \Delta l_2 + \Delta l_3 \leq 0,8 \quad (5)$$

$$\Delta C_{20} \leq IT_{20} \text{ soit } \Delta C_{20} = \Delta l_{11} + \Delta l_{10} + \Delta l_4 + \Delta l_5 + \Delta l_2 + \Delta l_3 \leq 0,8 \quad (6)$$

(*) Ou se place dans le cas généralement utilisé, où cotes de bureau d'étude et cotes fabriquées ont leurs cotes moyennes, égales en module.

De nombreuses solutions sont possibles, on acceptera celles dont les ΔC_j seront les plus proches possibles des IT_{K_j} du bureau d'études et celles dont les Δl_i seront réalisables dans des conditions normales d'usinage, compte tenu de l'expérience acquise sur le type de machine-outil utilisée.

Pour chaque Δl_i , on estime soit la valeur minimale réalisable pour la série sans usure d'outil et sans réglage, soit une valeur jugée optimale, compte tenu du matériel utilisé.

Dans un premier temps, on vérifie avec ces valeurs optimales ou minimales des Δl_i si la gamme proposée est réalisable, c'est-à-dire que tous les ΔC_j restent inférieurs aux IT_j .

Dans un deuxième temps, on répartit les écarts $\epsilon_j = IT_j - \Delta C_j$ ($\epsilon > 0$) sur l'ensemble des Δl_i , cette répartition se fera suivant les difficultés de réglage et d'usinage prévisibles. (Cette répartition peut être résolue par une méthode systématique sous forme de tableau, voir même exemple paragraphe B).

Détermination des Δl_i :

a) d'après des résultats expérimentaux (demandant entre autre une étude détaillée sur l'origine des variations aléatoires intervenant dans chaque Δl_i).

Les variations de mise en position des forets à centrer ont pour étendue optimale :

$$\Delta l_2 = \Delta l_3 = 0,15$$

Les variations de mise en position des plans de jauge des centres de la pièce sur la pointe du tour ont pour étendue $\Delta l_5 = \Delta l_{10} = 0,12$ réglage compris.

L'étendue des dispersions aléatoires dues à l'utilisation de butées positives du tour parallèle sera de 0,03.

b) relation (5).

Calcul du minimum admissible : $\Delta l_{10}, \Delta l_6, \Delta l_2$, tous γ fixés

Δl_{12} et Δl_7 ont pour minimum $\Delta l_{12} a = \Delta l_7 a = 0,03$
soit (5) $\rightarrow \Delta l_{12} a + \Delta l_{10} + \Delta l_7 a + \Delta l_6 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = 0,03 + 0,12 + 0,03 + 0,12 + 0,15 + 0,15 = 0,6$

Afin que l'intervalle ΔC_{25} soit égale à IT_{25} , l'écart $\epsilon_{25} = 0,8 - 0,6 = 0,2$ est à répartir sur Δl_{12} et Δl_7 pour le réglage des butées et les usures d'outils.

Nous prenons $\Delta l_{12} = \Delta l_7 = 0,13$

c) relation (6).

Nous trouvons le même résultat que pour la relation (5)
 $\Delta l_{11} = \Delta l_6 = 0,13$

d) relation (4).

Calcul du minimum admissible : Δl_{10} et Δl_3 sont fixés
 Δl_{12} et Δl_1 ont pour minimum $\Delta l_{12} a = \Delta l_1 a = 0,03$
soit $\Delta l_{12} a + \Delta l_{10} + \Delta l_3 + \Delta l_1 a = 0,03 + 0,12 + 0,15 + 0,03 = 0,33$

Afin que l'intervalle Δ_{21} soit égale à IT_{21} , l'écart $\epsilon_{21} = 0,5 - 0,33 = 0,17$ est à répartir sur Δl_{12} et Δl_1 , ayant déjà choisi $\Delta l_{12} = 0,13$ nous prenons $\Delta l_1 = 0,07$.

e) Les relations (1) (2) (3) étant vérifiées, on en déduit :

- $\Delta l_1 = 0,1$
- $\Delta l_2 = 0,15$
- $\Delta l_3 = 0,15$
- $\Delta l_4 = 0,12$
- $\Delta l_5 = 0,13$
- $\Delta l_6 = 0,13$
- $\Delta l_7 = 0,13$
- $\Delta l_8 = 0,37$
- $\Delta l_9 = 0,87$
- $\Delta l_{10} = 0,12$
- $\Delta l_{11} = 0,13$
- $\Delta l_{12} = 0,13$

Calcul des longueurs moyennes l_1, l_2, \dots, l_{12}

Le calcul sur les longueurs moyennes est celui fait sur les dimensions ou l'ensemble des éléments de R

La longueur l_4 n'intervient pas dans le calcul du fait que l'on ne s'intéresse qu'à la finition des surfaces.

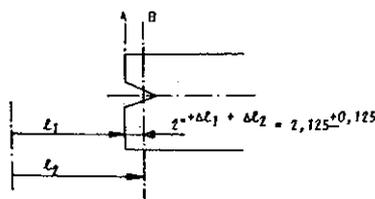
Le dessin de définition impose 6 équations entre les longueurs moyennes pour 11 inconnues ($l_1 \dots l_{12}$).

1) On se fixe une valeur nominale pour les longueur l_1, l_5 et l_{10} , nous prendrons 0 (dans un but pédagogique, on peut dans un premier temps prendre des valeurs $\neq 0$, par exemple 100) il sera néanmoins toujours bon de distinguer la surface de référence du repère fixe), soit :

- (1) $l_1 = 0$
- (2) $l_5 = 0$
- (3) $l_{10} = 0$

2) Pour des conditions de prise de pièces entre pointes, on s'impose que les plans de jauge des centres soient à 2 mm minimum des extrémités de la pièce.

soit sous-phase 10

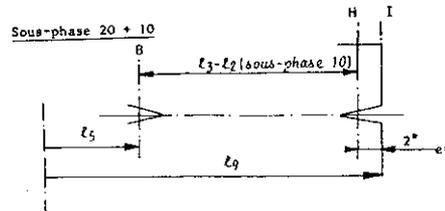


(4) $l_2 - l_1 = 2,125$

car $\Delta C_2 (AB) = \Delta l_1 + \Delta l_2$

$\Delta C_2 (AB) = 0,25$

et $C_2 = 2,125 \pm 0,125$



$+ \Delta l_0 + \Delta l_5$
 $+ \Delta l_6 + \Delta l_2$
 $= 1,29$ car
 $\Delta C_2 = \Delta l_0$
 $+ \Delta l_5 + \Delta l_2$
 $+ \Delta l_2$
 $\Delta C_2 = 1,29$
 $C_2 = 2,645$

et (5) $2,645 = l_0 - l_5 - l_3 + l_2$

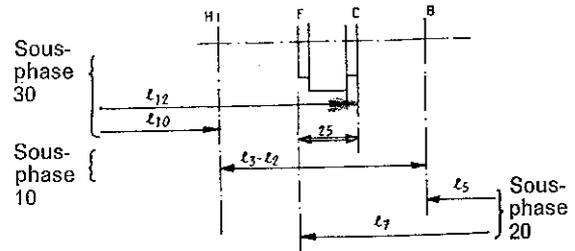
6 relations données par le dessin de définition. Conditions 65, 40, 2,5, 25, 20, 21.

Sous-phase 20 (6) $65 = l_0 - l_7$

(7) $40 = l_8 - l_7$

(8) $2,5 = l_7 - l_6$

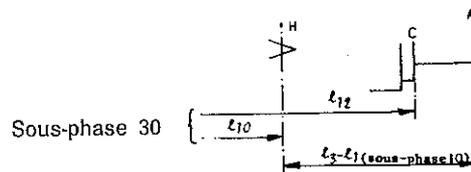
Sous-phase 30 + 10 + 20



(9) $25 = l_{12} - l_{10} - l_2 + l_2 + l_7 - l_5$
de la même façon, on obtient

(10) $20 = l_{11} - l_{10} - l_3 + l_2 + l_6 - l_5$

Sous-phase 30 + 10



(11) $21 = l_{10} + l_3 - l_1 - l_{12}$

En remplaçant l_1, l_5 et l_{10} par leur valeur 0, on obtient un système de 8 équations à 8 inconnues.

(4) $2,125 = l_2$

(5) $2,645 = l_0 - l_3 + l_2$

(6) $65 = l_0 - l_7$

(7) $40 = l_8 - l_7$

(8) $2,5 = l_7 - l_6$

(9) $25 = l_{12} - l_3 + l_2 + l_7$

(10) $20 = l_{11} - l_3 + l_2 + l_6$

(11) $21 = l_3 - l_{12}$

Solutions :

SOUS-PHASE 1 : origine des longueurs moyennes associées à la surface A ($l_m = 0$)

- $L_1 = 0 \pm 0,05$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,07
- $L_2 = 2,125 \pm 0,075$
- $L_3 = 108,355 \pm 0,075$

SOUS-PHASE 2 : origine des longueurs moyennes associées à la surface B ($l_m = 0$)

- $L_5 = 0 \pm 0,06$
- $L_6 = 41,375 \pm 0,065$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,1
- $L_7 = 43,875 \pm 0,065$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,1
- $L_8 = 83,875 \pm 0,185$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,34
- $L_9 = 108,875 \pm 0,435$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,84

SOUS-PHASE 3 : origine des longueurs moyennes associées à la surface H ($l_m = 0$)

- $L_{10} = 0 \pm 0,06$
- $L_{11} = 84,855 \pm 0,065$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,1
- $L_{12} = 87,355 \pm 0,065$
dont un accroissement du Δl mini de : 0,1

L'établissement de tous ces calculs a permis de vérifier la faisabilité de la gamme proposée et d'établir un document donnant principalement toute indication sur le matériel de l'atelier utilisé. La répartition des tolérances et par suite les tolérances admises pour les réglages et usure d'outil (accroissements entre les tolérances aléatoires choisies initialement et les tolérances retenues).

Dans cette première partie les calculs ont été réalisés en détail en vue de mieux comprendre l'utilisation d'une méthode matricielle de résolution. On se propose maintenant de l'exposer.

B. — Méthode générale automatique et programmable :

Cette méthode simple fait appel à un certain automatisme de résolution, il ne faudra pas pour autant négliger de vérifier l'indépendance des Δl_i .

La simplicité de cette méthode proposée permet en quelques minutes d'élaborer plusieurs gammes possibles et de vérifier rapidement la faisabilité de chaque gamme. D'autre part le modèle fondamental est suffisamment général pour être appliqué au calcul des copeaux, du brut, des symétries, etc. Il peut être également utilisé au bureau d'études dans la répartition des tolérances sur les chaînes de cotes.

On se propose de traiter quatre sujets :

- 1^{er} sujet : appliqué à la pièce de tournage précédente afin d'expliquer la méthode,
- 2^e sujet : appliqué à une pièce de tournage avec calcul du brut (et de la variation d'épaisseur des copeaux),
- 3^e sujet : appliqué à une pièce de fraisage avec les problèmes de symétrie et des cotes de « liaisons au brut » dites surabondantes,
- 4^e sujet : appliqué à un dessin d'ensemble pour résoudre le problème de la répartition des tolérances dans les chaînes de cotes.

1^{er} sujet :

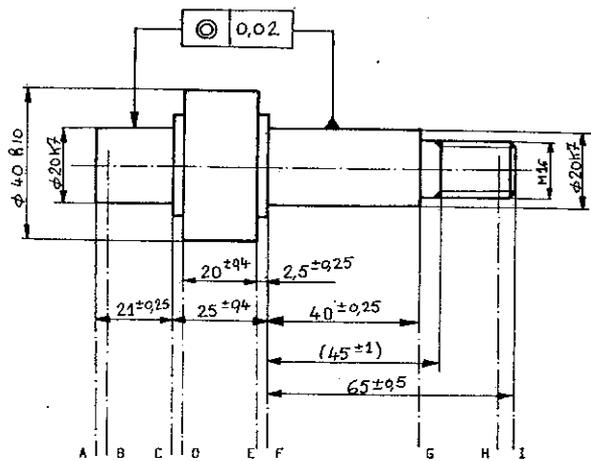
Mode opératoire de la méthode (fig. 4) :

- 1) chacune des n surfaces de la pièce sont repérées (A, B, C, ... I),
- 2) on forme un tableau de n colonnes et p lignes (p représentant le nombre de sous-phase) ici n = 9 et p = 3.

Chaque colonne représente une surface.

Chaque ligne représente une sous-phase.

On installe Δl à l'intersection d'une colonne i et d'une ligne j chaque fois que la surface i est soit usinée ou sert de surface de référence dans la sous-phase j.



Exemple : sous-phase 3, colonne H, Δl_{10} représente la variation de mise en position de la surface H dans le repère de la sous-phase 3.

Colonne D et colonne C, Δl_{11} et Δl_{12} représentent les variations de mise en position par réglages et usinages des surfaces D et C dans le repère de la sous-phase 3.

Tableau 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
SOUS-PHASE 1	Δl_1	Δl_2							Δl_3
SOUS-PHASE 2		Δl_5		Δl_6	Δl_7	Δl_8	Δl_9		Δl_{10}
SOUS-PHASE 3			Δl_{11}	Δl_{12}					

Fig. 4

Ce tableau représente l'essentiel d'une pré-gamme, c'est-à-dire la succession des sous-phases et pour chaque phase, la surface de référence et les surfaces usinées (fig. 3 de la première partie).

Remarque : on peut vérifier à la lecture du tableau que toutes les surfaces sont usinées (un Δl par colonne au minimum).

I. — Mise en équation sur les Δl :

Règles :

- a) Toute cote du dessin est définie par 2 colonnes exemple : la cote $40 \pm 0,25$ est définie par les colonnes F, G,

LES CHAINES DE COTES DE FABRICATION

la cote 25 ± 0,4 est définie par les colonnes C, F.

b) Parcours sur le graphe.

1° Sur une ligne, on peut passer de la colonne i à la colonne j lorsqu'un Δl figure aux 2 intersections de la ligne et des colonnes considérées. On effectue ainsi la somme des deux Δl.

Exemple :

Sur la ligne 1, on peut passer de la colonne A à la colonne H par Δl₁ et Δl₈ (opération : Δl₁ + Δl₈), mais il est impossible de passer de la colonne B à la colonne G par cette seule ligne.

2° On peut passer d'une ligne p à une autre ligne q par la colonne k lorsqu'un Δl figure aux deux intersections de la colonne k et des deux lignes considérées. On effectue ainsi la somme des deux Δl.

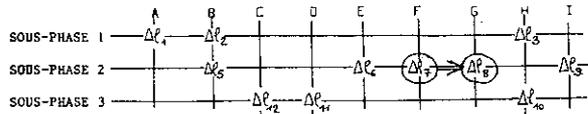
Exemple : on peut passer de la ligne 1 à la ligne 3 par la colonne H, opération : Δl₈ + Δl₁₀.

3° En appliquant ces deux règles, il est toujours possible de trouver un trajet minimal (minimum de lignes) pour aller d'une colonne à une autre.

Exemple :

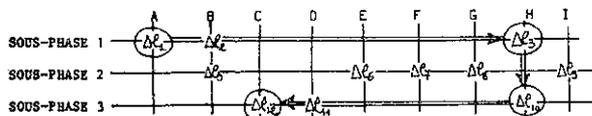
Cote 40 colonne F à colonne G

$$\Delta C_{40} = \Delta l_7 + \Delta l_8$$



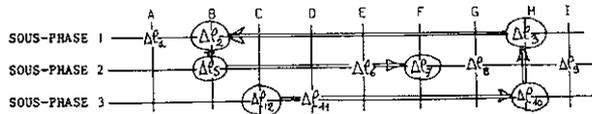
Cote 21 colonne A à colonne C

$$\Delta C_{21} = \Delta l_1 + \Delta l_3 + \Delta l_{10} + \Delta l_{12}$$



Cote 25 colonne C à colonne F

$$\Delta C_{25} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_3 + \Delta l_2 + \Delta l_5 + \Delta l_7$$



Remarque : chaque solution possède un nombre pair de Δl.

Les solutions sont indépendantes de l'ordre des lignes et des colonnes.

A ce stade de la méthode, nous avons établi à partir du dessin de définition :

a) un tableau illustrant une gamme,

b) l'écriture des équations correspondantes.

$$\Delta C_{05} = \Delta l_7 + \Delta l_8$$

$$\Delta C_{40} = \Delta l_7 + \Delta l_8$$

$$\Delta C_{2,15} = \Delta l_7 + \Delta l_8$$

$$\Delta C_{21} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_1 + \Delta l_3$$

$$\Delta C_{25} = \Delta l_{12} + \Delta l_{10} + \Delta l_7 + \Delta l_5 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

$$\Delta C_{20} = \Delta l_{11} + \Delta l_{10} + \Delta l_6 + \Delta l_3 + \Delta l_2 + \Delta l_3$$

Le choix des valeurs attribuées aux Δl peut se faire alors, en suivant le même mode qu'en première partie, ou en utilisant la méthode systématique suivante.

II. — Choix systématique des Δl :

L'écriture habituelle des inéquations est remplacée par un tableau II (fig. 5) à deux entrées (une entrée les Δl, l'autre entrée les IT).

Mode opératoire :

a) On forme un tableau de m colonnes et de q lignes. Chaque colonne représentant un Δl, chaque ligne un IT. Chaque ligne est remplie à partir du tableau fig. 4.

Tout Δl est représenté par une case hachurée.

Exemple : cote 25 (3^e ligne fig. 5)

Du tableau I fig. 4, on déduit l'équation : ΔC₂₅ = Δl₁₂ + Δl₁₀ + Δl₃ + Δl₂ + Δl₅ + Δl₇. Elle est transcrite directement sur la ligne ΔC₂₅ par les cases hachurées correspondantes aux colonnes Δl₁₂, Δl₁₀, Δl₃, Δl₂, Δl₅, Δl₇.

TABLEAU II - Premier état - (fig. 5)

Coefficients de répartition	Δl ₁	Δl ₂	Δl ₃	Δl ₄	Δl ₅	Δl ₆	Δl ₇	Δl ₈	Δl ₉	Δl ₁₀	Δl ₁₁	Δl ₁₂	ΔC	ε	n	ε/n
ΔC ₂₁ (AC) ≤ 0,5																
ΔC ₂₀ (BE) ≤ 0,8																
ΔC ₂₅ (CF) ≤ 0,8																
ΔC _{2,5} (FE) ≤ 0,5																
ΔC ₄₀ (FG) ≤ 0,5																
ΔC ₆₅ (FI) ≤ 1																

b) Faisabilité de la gamme (fig. 6 et 7).

On attribue à chaque Δl, soit une valeur provisoire comme l'étendue minimale admissible (étendue de la dispersion aléatoire) soit une valeur jugée optimale qui sera définitive.

Par exemple : Δl₁, Δl₆, Δl₇, Δl₈, Δl₉, Δl₁₁, Δl₁₂ auront une valeur provisoire de 0,03 représentant l'étendue de la variation de mise en position d'un chariot sur une butée fixe.

Δl₂, Δl₃ auront pour valeur définitive 0,15 représentant une valeur optimale liée à la machine à centrer, c'est-à-dire l'étendue optimale de mise en position des centres sur la pièce.

Le tableau II est ainsi rempli avec les valeurs provisoires ou définitives des Δl (fig. 6).

TABLEAU II - Deuxième état (fig. 6)

Coefficients de répartition	1											ΔC	ϵ	n	$\frac{\epsilon}{n}$	
	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl_5	Δl_6	Δl_7	Δl_8	Δl_9	Δl_{10}	Δl_{11}					Δl_{12}
AC ₂₁ (AC) $\leq 0,5$	0,03	0,15					0,12	0,03	0,33	0,17	2	0,085				
AC ₂₀ (DE) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03		0,6	0,2	2	0,1			
AC ₂₅ (CF) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03	0,6	0,2	2	0,1				
AC _{2,5} (FE) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₄₀ (FG) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₆₅ (FI) ≤ 1				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				

Par ligne on calcule :
- la somme ΔC des Δl hachurés

Par ligne on calcule :
- la somme ΔC des Δl hachurés
- l'écart ϵ entre l'IT du dessin de définition et le ΔC correspondant : $\epsilon = IT - \Delta C$

Pour que la gamme proposée soit « faisable » il faut que tous les écarts ainsi calculés soient positifs.

Dans le cas où l'un ou des écarts est négatif, la gamme proposée ne convient pas, il faut alors changer de machine-outil (machine-outil plus précise), ou changer l'ordonnancement de la gamme.

c) Répartition des écarts (exemple traité avec la première hypothèse de répartition)

1° Choix des coefficients de répartition

Tous les écarts calculés étant positifs, ils doivent être répartis sur les Δl mini provisoires.

Plusieurs hypothèses de répartition peuvent être utilisées.

1^{re} hypothèse : on peut admettre que la difficulté de réglage et d'obtention des dispersions est sensiblement la même sur tous les Δl mini provisoires. La répartition de l'écart se fera donc proportionnellement au nombre de Δl mini.

On définit par ligne le nombre n de Δl mini, ce qui revient à affecter à chaque Δl mini le coefficient de répartition 1, le nombre n représente alors la somme par ligne des coefficients de répartition.

Dans l'exemple traité fig. 6 : ligne 1, n = 2.

2^e hypothèse : par ligne, la répartition de l'écart peut se faire proportionnellement à la difficulté d'exécution. A chaque Δl mini est affecté un coefficient de répartition proportionnel à la difficulté d'exécution (réglage, usure d'outil, etc.).

Par exemple : (non traité dans les fig. 6 et 7) Δl_1 est une dispersion aléatoire d'un chariot bloqué en position sans butée, on donne le coefficient 1. Δl_6 , Δl_7 , Δl_8 , Δl_9 , Δl_{11} , Δl_{12} représentent des dispersions aléatoires d'un chariot remis en position sur une butée, la difficulté de réglage sera de 1,5.

On définirait ainsi par ligne le nombre n représentant la somme des coefficients affectés au Δl mini hachuré.

2° Choix de la ligne à optimiser. Connaissant les écarts ϵ et les nombres n, on calcule par ligne l'écart relatif ϵ/n .

L'écart relatif mini désigne la ou les ligne (s) à optimiser. Sur cette ou ces ligne (s), on répartit l'écart ϵ entre les Δl mini, les nouveaux Δl ainsi trouvés sont optimum et figurent les colonnes correspondantes.

{formule : Δl nouveau = Δl mini + $\epsilon/n \times$ coefficient de répartition.

Exemple fig. 6 - fig. 7 :

Fig. 6, l'écart relatif mini 0,085 correspond à la première ligne que l'on optimise.

Fig. 7, soit $\Delta l_1 = 0,03 + 0,085 \times 1 = 0,115$
 $\Delta l_{12} = 0,03 + 0,085 \times 1 = 0,115$

TABLEAU II - troisième état (fig. 7)

Coefficients de répartition	1											ΔC	ϵ	n	$\frac{\epsilon}{n}$	
	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl_5	Δl_6	Δl_7	Δl_8	Δl_9	Δl_{10}	Δl_{11}					Δl_{12}
AC ₂₁ (AC) $\leq 0,5$	0,115	0,15					0,12	0,03	0,33	0,17	2	0,085	0,5	0	0	-
AC ₂₀ (DE) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03		0,6	0,2	2	0,1			
AC ₂₅ (CF) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03	0,6	0,2	2	0,1	0,115	0,115	1	0,115
AC _{2,5} (FE) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₄₀ (FG) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₆₅ (FI) ≤ 1				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				

3° Avec les nouvelles valeurs des Δl optimisés, on recommence à nouveau les calculs des ΔC des ϵ des n et des écarts relatifs (fig. 7).

L'écart relatif mini ($\neq 0$) désigne à nouveau la (ou les) ligne (s) à optimiser (dans l'exemple : lignes 2 et 3).

Ainsi de proche en proche, le tableau se trouve entièrement optimisé (fig. 8).

TABLEAU II - état final (fig. 8)

Coefficients de répartition	1											ΔC	ϵ	n	$\frac{\epsilon}{n}$	
	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl_5	Δl_6	Δl_7	Δl_8	Δl_9	Δl_{10}	Δl_{11}					Δl_{12}
AC ₂₁ (AC) $\leq 0,5$	0,115	0,15					0,12	0,03	0,33	0,17	2	0,085	0,5	0	0	-
AC ₂₀ (DE) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03		0,6	0,2	2	0,1			
AC ₂₅ (CF) $\leq 0,8$		0,15	0,15	0,12	0,03		0,12	0,03	0,6	0,2	2	0,1	0,115	0,115	1	0,115
AC _{2,5} (FE) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₄₀ (FG) $\leq 0,5$				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				
AC ₆₅ (FI) ≤ 1				0,03	0,03				0,06	0,44	2	0,22				

Solutions :

$$\begin{aligned} \Delta l_1 &= 0,115 & \Delta l_7 &= 0,145 \\ \Delta l_2 &= 0,15 & \Delta l_8 &= 0,355 \\ \Delta l_3 &= 0,15 & \Delta l_9 &= 0,855 \\ \Delta l_4 &= 0,12 & \Delta l_{10} &= 0,12 \\ \Delta l_5 &= 0,12 & \Delta l_{11} &= 0,13 \\ \Delta l_6 &= 0,13 & \Delta l_{12} &= 0,115 \end{aligned}$$

III. — Calcul des longueurs moyennes :

A chaque Δl_i du tableau I fig. 4 correspond une longueur moyenne de base l_i .

Les opérations sur l'ensemble des longueurs moyennes étant les mêmes que celles de l'ensemble des nombres réels, la mise en équation peut se faire sans précaution particulière de relation de dépendance et d'indépendance des cotes.

LES CHAINES DE COTES DE FABRICATION

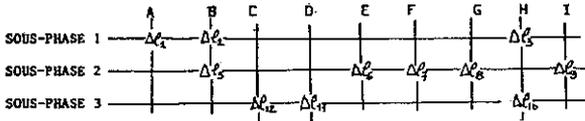
Pour chaque sous-phase, l'origine des longueurs moyennes peut être choisie arbitrairement. Pour simplifier les calculs, nous prenons dans tous les cas, celle associée à la même surface, celle située la plus à gauche du tableau 1.

Ainsi : toutes les longueurs l_i sont positives et croissantes de la gauche vers la droite.

toutes longueurs l_i d'une même colonne ont même module.

Exemple du tableau 1 :

- l'origine des longueurs l_i est la colonne A : ($l_1 = 0$)
- l_5 est plus grand que l_8
- l_2 est égale à l_8



Le nombre d'inconnues se trouve être égale au nombre des colonnes moins une (ici 8 inconnues $l_2, l_{12}, l_{11}, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}$ avec $l_1 = 0, l_5 = l_2$ et $l_8 = l_{10}$).

Le nombre de conditions est égale au nombre de cotes (ne formant pas de boucle fermée) du dessin de définition (ici 6 conditions : 21; 20; 25; 2,5; 40; 65).

Contrairement au calcul des Δl ou nous avons un système d'inéquations à résoudre, dans le cas des longueurs moyennes, nous avons un système d'équations, le nombre p d'inconnues doit être égal au nombre q d'équations.

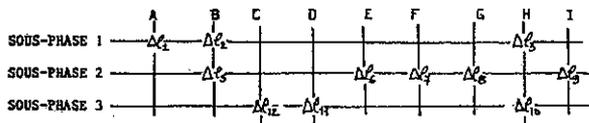
1° Si $p > q$: ($p - q$) conditions supplémentaires de fabrication doivent être données pour se ramener au cas ou $p = q$.

Dans l'exemple, nous aurons 2 conditions supplémentaires :

Les distances des plans de jauge aux extrémités de la pièce doivent être de 2 mm minimum, soit

$$\begin{aligned} AB \text{ mini} &= 2 \\ HI \text{ mini} &= 2 \end{aligned}$$

Le calcul des variations de AB et de HI est immédiat à partir du tableau 1 :



Nous déduisons les dimensions moyennes :

$$AB \text{ moyen} = AB \text{ mini} + \frac{\Delta CAB}{2} = 2,1325 \text{ soit } \approx 2,14$$

$$HI \text{ moyen} = HI \text{ mini} + \frac{\Delta CHI}{2} = 2,6375 \text{ soit } \approx 2,64$$

2° Si $p = q$

Equations :

Chaque condition de bureau d'étude ou de fabrication définit une dimension moyenne entre deux colonnes. Cette dimension est la différence entre 2 longueurs moyennes de base l_i .

Cette différence sera toujours positive en prenant la différence : longueur moyenne à droite — longueur moyenne à gauche.

Exemple :

Colonnes : équations :

$$\text{Conditions de bureau d'étude} \left\{ \begin{aligned} A C : 21 &= l_{12} - 0 \\ C F : 25 &= l_7 - l_{12} \\ D E : 20 &= l_6 - l_{11} \\ E F : 2,5 &= l_7 - l_6 \\ F G : 40 &= l_8 - l_7 \\ F I : 65 &= l_9 - l_7 \end{aligned} \right.$$

$$\text{Conditions de fabrication} \left\{ \begin{aligned} A B : 2,14 &= l_2 - 0 \\ H I : 2,64 &= l_9 - l_8 \end{aligned} \right.$$

Les solutions sont immédiates :

$$\begin{aligned} l_2 &= 2,14 & l_8 &= 86 \\ l_3 &= 108,36 & l_9 &= 111 \\ l_6 &= 43,5 & l_{11} &= 23,5 \\ l_7 &= 46 & l_{12} &= 21 \\ l_5 &= l_2 = 2,14 & l_{10} &= l_8 = 108,36 \\ \text{avec } l_1 &= 0 \end{aligned}$$

Pour simplifier le calcul, l'origine 0 a été choisie sur la longueur moyenne correspondante à la première surface. Si on le désire, pour des questions de réglage, on peut maintenant par simple translation d'axe et si besoin est de signe, choisir pour chaque sous-phase une nouvelle origine. Exemple :

a) Pour la sous-phase 2, prenons une nouvelle origine sur le plan de jauge B, les longueurs moyennes étant croissantes vers la droite

	0	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9
valeurs calculées						
	A	2,14	43,5	46	86	111
		B	E	F	G	I

Nouvelles valeurs :

$$\begin{aligned} l_5 &= 0 \\ l_6 &= 43,5 - 2,14 = 46,36 \\ l_7 &= 46 - 2,14 = 43,86 \\ l_8 &= 86 - 2,14 = 83,86 \\ l_9 &= 111 - 2,14 = 108,86 \end{aligned}$$

b) Pour la sous-phase 3, prenons une nouvelle origine sur le plan de jauge H, les longueurs moyennes étant positifs vers la gauche

	0	l_{12}	l_{11}	l_{10}
Valeurs calculées				
	A	21	23,5	108,36
		C	D	H

LES CHAINES DE COTES DE FABRICATION

Nouvelles valeurs :

$$L_{10} = 0$$

$$L_{11} = - (23,5 - 108,36) = 84,86$$

$$L_{12} = - (21 - 108,36) = 87,36$$

Résultats obtenus : (avec les nouvelles origines)

SOUS-PHASE 1

$$L_1 = 0 \pm \frac{0,115}{2}$$

$$L_2 = 2,14 \pm \frac{0,15}{2}$$

SOUS-PHASE 2

$$L_5 = 0 \pm \frac{0,12}{2}$$

$$L_3 = 108,36 \pm \frac{0,15}{2}$$

$$L_6 = 41,36 \pm \frac{0,13}{2}$$

$$L_7 = 43,86 \pm \frac{0,145}{2}$$

$$L_8 = 83,86 \pm \frac{0,355}{2}$$

SOUS-PHASE 3

$$L_{10} = 0 \pm \frac{0,12}{2}$$

$$L_{11} = 84,86 \pm \frac{0,13}{2}$$

$$L_9 = 108,86 \pm \frac{0,855}{2}$$

$$L_{12} = 87,36 \pm \frac{0,115}{2}$$

3° Si $p < q$ ceci correspond au cas rare mais parfaitement possible de chaîne de cotes fermées sur le dessin. Les dimensions moyennes doivent être compatibles entre elles, si non transformer la cotation pour qu'il en soit ainsi.

P. BOURDET



Librairie HATIER - 59, Boulevard Raspail 75278 Paris Cedex 06 Tél. : 548.43.20

AUDIO-VISUEL

TECHNOLOGIE PHYSIQUE

par J.L. MARAZZANI

4° et 3° : 7 coffrets de 24 vues en couleurs

- coffret n° 1 : METROLOGIE (1)
- coffret n° 2 : MECANIQUE (1)
- coffret n° 3 : MECANIQUE (2)
- coffret n° 4 : MECANIQUE (3)
- coffret n° 5 : METROLOGIE (2)
- coffret n° 6 : ELECTRICITE (1)
- coffret n° 7 : CHIMIE (1)

METROLOGIE

par M. BOHAN

MESURE DES ETATS DE SURFACE

Série 1 : 1 coffret de 24 vues en couleurs avec commentaire

GENERALITES, DISPOSITIFS MECANQUES, ELECTRIQUES ET PNEUMATIQUES

Série 2 : 1 coffret de 24 vues en couleurs avec commentaire

DISPOSITIFS OPTIQUES

METALLURGIE

par J. CURE

Professeurs de Métallurgie au Lycée Technique Diderot à Paris

1^{re} Série : Album de 24 vues en couleurs

ACIERS ET FONTES MICROSTRUCTURES

- STRUCTURE DES ACIERS
- STRUCTURE DES FONTES

2^e Série : Album de 36 vues en couleurs

TRAITEMENTS CHIMIQUES ET THERMOCHIMIQUES DES ACIERS ET DES FONTES

■ TRAITEMENTS THERMIQUES

- Recuit
- Trempé

■ TRAITEMENTS THERMOCHIMIQUES

- Cémentation
- Nitruration
- Carbonitruration
- Chromisation

■ FOURS DE TRAITEMENT

par J. CURE et R. WILMOTTE

3^e Série : Coffret de 36 vues en couleurs

ALLIAGES LEGERS ET CUIVREUX