

**TRANSFORMATEUR DE MESURE POUR L'EJECTION RAPIDE DE LEAR**

---

Calculs et résultats escomptés

Edgard Asséo

Sommaire

	page
1. Les limites d'utilisation	1
2. Les contraintes pratiques	1
3. Conséquences	2
4. Détermination de la sensibilité du transfo	3
5. Choix de la sensibilité du transfo	7
6. Calcul du tore magnétique	10
7. Dimensions	12
8. Caractéristiques prévues pour les mesures	12

## 1 - Les limites d'utilisation :

Les prévisions globales, en utilisation normale, sont les suivantes :

### charge du faisceau

$$N_{\max} \approx 2,5 \cdot 10^9 \quad P, \bar{P}$$

$$N_{\min} \approx 1 \cdot 10^8 \quad P, \bar{P}$$

### durée du "bunch" éjecté :

$$(d_b)_{\max} \approx 1 \text{ } \mu\text{sec.}$$

$$(d_b)_{\min} \approx 100 \text{ } \mu\text{sec.}$$

## 2 - Les contraintes pratiques

Elles concernent principalement les limitations dues aux bruits. Si on considère le même gain en tension (200) que pour l'électronique des transfos déjà installés, les mesures faites montrent (PS/LEA/note 85-5) que les erreurs exprimées en nombre de particules augmentent avec la durée  $d_g$  d'ouverture de la porte linéaire. On a mesuré comme erreur moyenne correspondant à la déviation standard  $\sigma$  obtenue avec 100 mesures

$$\sigma \approx d_g \text{ } \mu\text{sec.} \cdot 10^5 \quad P, \bar{P}.$$

On peut exprimer l'erreur  $\sigma$  en LSB sachant que  $1 \text{ LSB} \equiv 5 \cdot 10^6 \text{ p.p.}$ :

$$\sigma_{\text{LSB}} \approx \frac{2}{100} d_g \text{ msec.} \quad (2.1)$$

A la figure 1 (courbe inférieure) est représentée la fonction  $\sigma_{\text{LSB}} = f_1(d_g)$ .

### 3- Conséquences

Considérons comme valeurs minima de la charge  $N_{\text{min}}$  mesurée, les valeurs  $(N_{\text{min}})_{\text{LSB}}$  correspondant à une erreur maximum de 10% c'est à dire égales à  $10 \sigma_{\text{LSB}}$ . Par ailleurs il faut considérer le cas le plus défavorable où

$$d_g \text{ msec} = d_b \text{ msec} + 200$$

On aura donc :

$$(N_{\text{min}})_{\text{LSB}} = f_2(d_b)$$

avec

$$f_2(d_b) = 10 \times f_1(d_b + 200)$$

soit donc

$$(N_{\text{min}})_{\text{LSB}} = f_2(d_b) = 10 \times f_1(d_b + 200)$$

Cette fonction est représentée sur la figure 1 (courbe supérieure). D'où avec (2.1)

$$f_2(d_b) \approx 10 \times \sigma_{\text{LSB}} = 0,2 \times (d_b + 200) \quad (3.1)$$

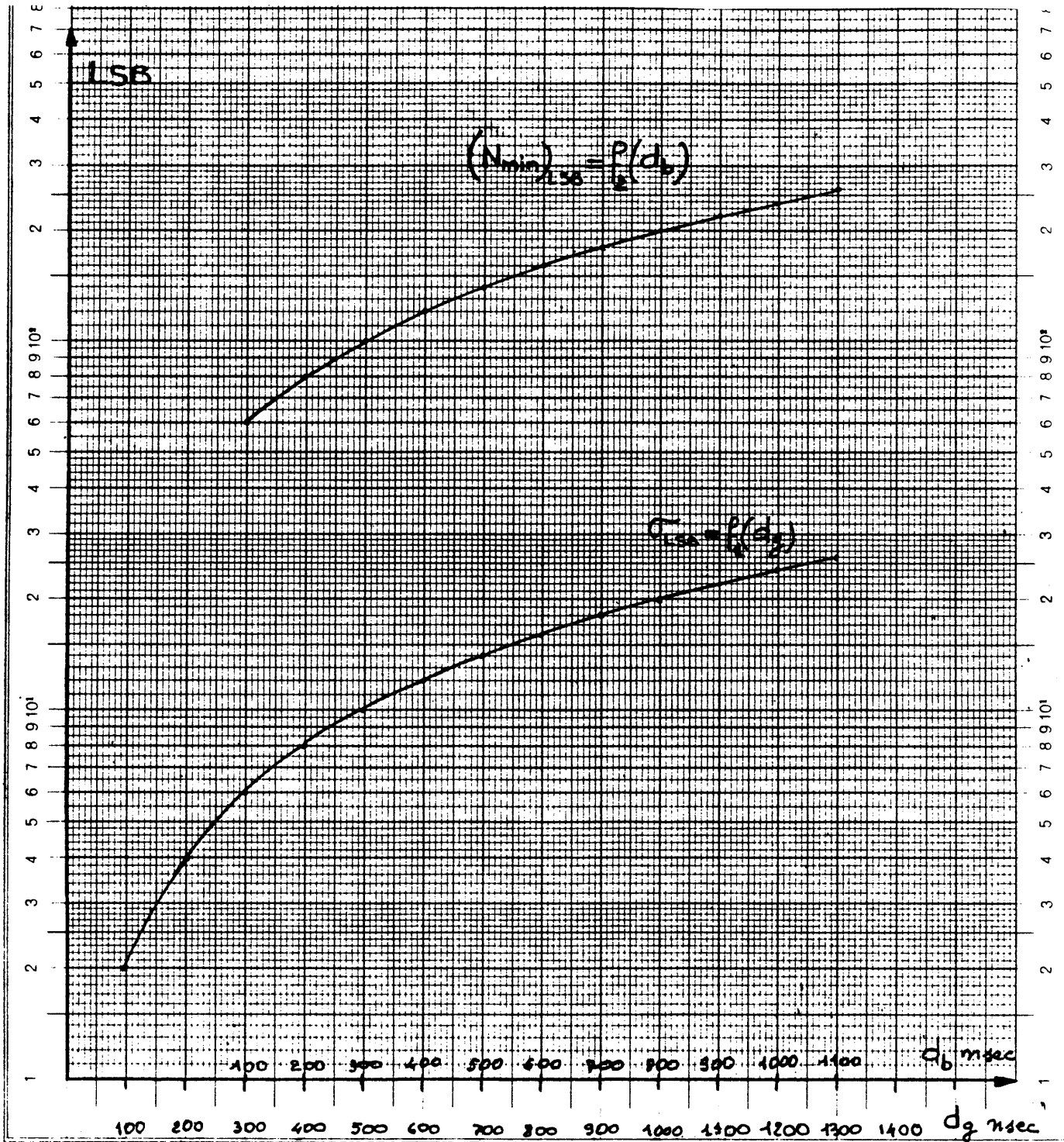


Fig. 1

4- Détermination de la sensibilité du transfo.

La sensibilité du transfo dépend du nombre total de spires  $2n$  (2 enroulements symétriques de  $n$  spires) et de la résistance de charge  $R$  (voir PS/LEA Note 85-7 et

PS/LEA Note 86-9). On néglige en première approximation l'influence de l'enroulement de calibration

$$S = \frac{R}{2n} \text{ mV/mA} \quad (4.1)$$

A la sortie de l'intégrateur on obtient, pour un courant faussé  $i_f(t)$ , une tension  $U_c$ :

$$U_c = S \cdot G_T = \frac{1}{RC} \int_0^{d_b} i_f(t) dt$$

gain total de l'électronique

Constante de temps de l'intégrateur

$$\text{or } N = \frac{1}{e} \int_0^{d_b} i_f(t) dt$$

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$$

d'où

$$U_c = S \cdot \left( G_T \frac{1}{RC} \cdot e \right) \cdot N$$

La valeur de LSB étant  $2,5 \cdot 10^{-3}$  volt, on obtient:

$$N_{\text{LSB}} = S \cdot \left( G_T \cdot \frac{1}{RC} \cdot e \right) \cdot \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} \cdot N \quad (4.2)$$

L'équivalent du LSB est alors:

$$1 \text{ LSB} \equiv \frac{1}{S \cdot \left( G_T \cdot \frac{1}{RC} \cdot e \cdot \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} \right)} \text{ P.I.P} \quad (4.3)$$

et

$$S = \frac{N_{\text{LSB}}}{N} \times \frac{1}{G_T \cdot \frac{1}{RC} \cdot e \cdot \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}}} \quad (4.4)$$

La relation (4.2) montre que, dans les conditions de mesure où  $N$  est minimum ( $N_{\min} = 10^8 P, \bar{P}$ ), il faut que  $N_{\text{LSB}}$  soit  $\geq (N_{\min})_{\text{LSB}} = f_e(d_b)$ .

Avec les valeurs utilisées dans les transfos installés (MTR 01, 02, ...) on a pour  $N = 10^8$

$$s = \frac{50}{2 \times 10} = 2,5 \text{ mV/}\mu\text{A}$$

$$G_T = 200$$

$$RC = 160,2 \cdot 10^{-3} \text{ sec.}$$

d'où

$$N_{\text{LSB}} = \frac{2,5 \times 200 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 10^8}{160,2 \cdot 10^{-3} \times 2,5 \cdot 10^{-3}} = 20 \text{ LSB}$$

ce qui est nettement insuffisant; effet la courbe  $f_e(d_b)$  montre qu'on a :

$$\left[ (N_{\min})_{\text{LSB}} \right]_{\min} = 60. \quad (\text{pour } d_b = 100 \text{ nsec})$$

Il faut donc augmenter la valeur du facteur

$$\frac{N_{\text{LSB}}}{N} = s \cdot G_T \times \frac{1}{RC} \cdot e \cdot \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}}$$

En admettant que la majeure partie du bruit provient des bruits en mode commun non totalement rejetés par la réception différentielle, il n'y a pas intérêt à augmenter le gain de l'électronique (en augmentant  $G_T$  ou diminuant  $RC$ ). Il faut donc jouer sur la sensibilité du transfo.

Pour augmenter la sensibilité, il faut diminuer le nombre total de spires  $2n$ . En effet augmenter  $R$  risque de conduire à une augmentation du bruit.

Si on conserve le gain total de l'électronique à sa valeur actuelle, la relation (4.4) s'écrit

$$S = 1,2508 \cdot 10^7 \cdot \frac{N_{LSB}}{N}$$

On doit avoir, pour  $N = 10^8$ ,  $N_{LSB} \geq (N_{min})_{LSB} = f_e(d_b)$

d'où :

$$S = \frac{50}{2n} \geq 1,2508 \cdot 10^7 \times \frac{f_e(d_b)}{10^8}$$

$$S = \frac{50}{2n} \geq 0,12508 \cdot f_e(d_b) \quad (4.5)$$

Or la courbe  $f_e(d_b)$  montre que  $f_e(d_b)$  augmente avec la durée du "bunch"  $d_b$ .

Pour calculer la sensibilité du transfo, il faut donc non seulement fixer la charge minimum à mesurer avec une erreur maximum de 10% (donc  $10^8 p, \bar{p}$  dans notre cas) mais aussi la durée du "bunch"  $d_b^0$  qu'on considère.

Dans ce cas la relation (4.5) donne:

$$S \geq 0,12508 f(d_b^0)$$

Ce qui amènera à choisir une valeur  $S^*$  pratique (pour le choix de  $d_b^0$  et  $S^*$  voir paragraphe 5).

Avec la valeur  $s_*$  ainsi choisie, on calcule [ou relit sur la courbe  $f_2(d_b)$ ] la valeur correspondante :

$$f_2(d_b^*) = \frac{s_*}{0,12508} \quad (4.6)$$

La conséquence en sera que pour toutes durées de "bunch"  $d_b > d_b^*$ , la valeur de la charge minimum  $N_{min}$ , mesurable avec une erreur maximum de 10%, sera augmentée. On aura :

$$(N_{min})_{10\%} = 10^8 \times \frac{f_2(d_b)}{f_2(d_b^*)} \quad (4.7)$$

### 5. Choix de la sensibilité du Transfo.

L'expression (1) de la sensibilité du transfo montre que, R étant donné, il faut, pour augmenter la sensibilité, diminuer le nombre total de spires  $2n$ . Or la constante de temps de transfo (liée à la valeur de l'inductance totale) est proportionnelle à  $(2n)^2$  et au volume magnétique du tore (voir PS/LEA/Note 86-9). Pour conserver la constante de temps nécessaire à la durée maximum du "bunch", le choix d'une sensibilité haute donc d'un faible nombre de spires, conduit à un volume magnétique (donc un poids et un prix) d'autant plus grand que  $2n$  est petit. Ceci est l'une des considérations.

Une autre considération, lorsque  $2n$  devient petit, est



L'influence de plus en plus grande de l'enroulement de calibration  $n_c$  (dont la valeur minimum est 1) qui vient diminuer la sensibilité apparente du transfo [ce qu'on doit compenser en augmentant la résistance  $R_c$  du circuit de calibration proportionnellement à  $(2n)^2$ ].

Dans le cas du transfo pour l'éjection rapide ces considérations nous amènent à choisir (voir paragraphe 6)

$$s \geq 0,12508 \times f (d_b^0 = 100 \text{ nsec})$$

$$s \geq 0,12508 \times 60 = 7,5048 \text{ mV/MA}$$

$$\text{ce qui donne } 2n \leq \frac{R}{s} = \frac{50}{7,5048} = 6,662$$

d'où le choix de

$$n = 3 \text{ soit } 2n = 6$$

d'où en retour la valeur de la sensibilité

$$s^* = \frac{50}{2 \times 3} = 8,333 \text{ mV/MA}$$

$$\text{et } f_e(d_b^*) = \frac{s^*}{0,12508} = 66,62 \\ = 67 \text{ LSB.}$$

La relation (3.1) permet d'écrire

$$d_b^* \text{ nsec} = \frac{f_e(d_b^*) - 40}{0,2} \quad (5.1) \\ = \frac{67 - 40}{0,2} = 135 \text{ nsec}$$

D'où avec la relation (4.7)

$$(N_{min})_{10\%} \approx 10^8 \times \frac{f_2(d_b)}{f_2(d_b^*)}$$

soit avec la relation (3.1) :

$$(N_{min})_{10\%} \approx 10^8 \times \frac{0,2(d_b + 200)}{0,2(d_b^* + 200)}$$

$$(N_{min})_{10\%} \approx 10^8 \cdot \frac{d_b + 200}{d_b^* + 200} \quad (5.2)$$

(avec  $d_b$  et  $d_b^*$  en nanosecondes)

D'où dans le cas  $n=3$  et  $k^*=8,333 \text{ mV/}\mu\text{A}$

$$(N_{min})_{10\%} \approx 10^8 \times \frac{d_b + 200}{335} \quad (5.3)$$

On obtient d'une façon évidente :

$$(N_{min})_{5\%} \approx 2 \cdot 10^8 \frac{d_b + 200}{335} \quad (5.4)$$

et

$$(N_{min})_{1\%} \approx 10^9 \cdot \frac{d_b + 200}{335} \quad (5.5)$$

La valeur du LSB exprimée en  $p, \bar{p}$  est donnée par la relation (4.3). On obtient :

$$1 \text{ LSB} \equiv \frac{1}{\frac{50}{6} \times 200 \times \frac{1}{160,2 \cdot 10^{-3}} \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}}}$$

soit

$$1 \text{ LSB} \equiv 1,5 \cdot 10^6 \text{ p, } \bar{p} \quad (5.6)$$

Le "full scale" du convertisseur (11 bit par polarité) correspond à :

$$N_{\text{full scale}} = 1,5 \cdot 10^6 \times (2^{11} - 1) = 3,07 \cdot 10^9 \text{ p.p.} \quad (5.7)$$

## 6. Calcul du tore magnétique

Le calcul du tore a été effectué à l'aide du programme TORCA (PS/LEA/note 86-9).

Les données sont :

- 1/2 nombre despires = 3
- d = diamètre intérieure = 207 mm (imposée par la chambre à vide)
- constante de temps minimum = la durée maximum du "bunch" étant 1  $\mu\text{sec}$ , nous avons choisi la valeur  $T = 170 \mu\text{sec}$  pour garantir  $T > 100 \times \text{durée maximum du "bunch"}$ .
- Résistance de charge = 50  $\Omega$
- effet de l'enroulement de calibration  $(\frac{dI}{I})_{\text{max}} = 1\%$

Les résultats du calcul sont donnés à la page 11.

**TORE MAGNET.**  
TRANSFO DE MESURE

ULTRAPERM 10  
QUALITE U-030  
TRAIT. FIX 022/1  
EPAIS. DE BANDE=0.03 MM.

SYNTHESE

N=1/2 NBR. DE SPIRES  
N=3

d=DIAM. INT. EN MM.  
d=207

CONST. DE TEMPS EN SEC.  
val. min. demandee:  
T=170,0E-6

FREQ. DE COUPURE EN HZ.  
val. max. demandee:  
Fc=936,2E0

R=CHARGE EN OHM  
R=50,000

SENSIBILITE DEMANDEE  
s=8,3333 mV/mA

CALIBRATION  
Nc=1  
ds/s max.=0,0100  
Rc MIN.=137,5000

Rc=150,000

effets equival.  
s\*=0,9900.s  
R\*=49,541  
T\*=1,009.T

le calcul sera fait pour  
obtenir la constante de  
temps demandee.

RESULTATS

D=DIAM. EXT. EN MM.  
D=320,0

d=DIAM. INT. EN MM.  
d=207,0

H=HAUT. EN MM.  
H=73,0

SECTION MAGN. EN CM<sup>2</sup>  
S=33,00

LONG. MAGN. EN CM.  
l=82,78

INDUCT. TOT. EN HENRY  
valeur a 1 khz.

minimum:  
L=8,385E-3  
nominale:  
L=11,18E-3

CONST. DE TEMPS EN SEC.  
reponse indicielle

minimum:  
T=170,5E-6  
nominale:  
T=227,4E-6

FREQ. DE COUPURE EN HZ.

maximum:  
Fc=933,2E0  
nominale:  
Fc=699,9E0

INDUCT. TOT. A F=Fc

valeur en henry  
minimum:  
L=8,449E-3  
nominale:  
L=11,27E-3

$\mu$ =PERMEABILITE REL.

valeur pour f=fc  
minimum:  
 $\mu$ =46,857,0  
nominale:  
 $\mu$ =62,476,0

VOLUME MAGN. EN CM<sup>3</sup>  
V=2,731,44

POIDS EN KG.  
P=23,764

ENCOMBREMENT TOTAL EN MM.  
DIAM. EXT.=329,0  
DIAM. INT.=199,5  
HAUTEUR=80,5

SENSIBILITE DU TRANSFO  
s= 8,2569 mV/mA

### Commentaires sur les résultats

- La sensibilité voulue et la grande valeur du diamètre intérieur du tore, conduisent à un tore dont le poids est notable (23,7 kg).
- Prix du tore :  $\approx$  8000 frs.
- La résistance du circuit de calibration est portée à  $150 \Omega$  (100  $\Omega$  sur les autres transformateurs) -  
On utilisera donc du câble à  $Z_c = 75 \Omega$  avec le schéma suivant (fig. 2):

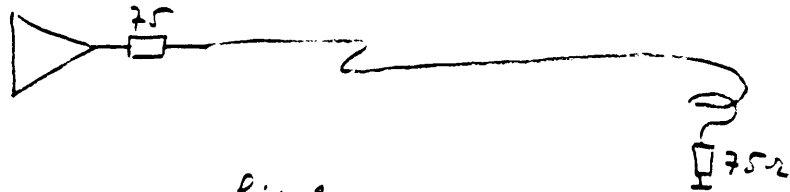


fig. 2

### 7- Dimensions pour le support mécanique

L' encombrement total du tore donné par le programme concerne les dimensions de la boîte isolante contenant le tore. Donc ne sont pas comptées les épaisseurs de l'enroulement et des mousses de collage.

### 8- Caractéristiques prévues pour les mesures

"full-scale"  $3,07 \cdot 10^3$  P,P

LSB =  $1,5 \cdot 10^6$  P,P

erreur pour bunch de 100 nsec  $\approx \pm 6$  LSB =  $\pm 9 \cdot 10^6$  P,P

erreur pour bunch de 500 nsec  $\approx \pm 14 \text{ LSB} = \pm 2,1 \cdot 10^7 p, \bar{p}$   
erreur pour bunch de 1  $\mu\text{sec} \approx \pm 24 \text{ LSB} = \pm 3,6 \cdot 10^7 p, \bar{p}$ .

A l'aide des relations (5.3), (5.4) et (5.5), on obtient, divisées en 4 gammes, les erreurs relatives  $\epsilon$  prévues pour les mesures dans les limites (fig. 3):

$$N \leq 310^9$$

$$\text{et } 100 \text{ nsec.} \leq d_b \leq 1300 \text{ nsec}$$

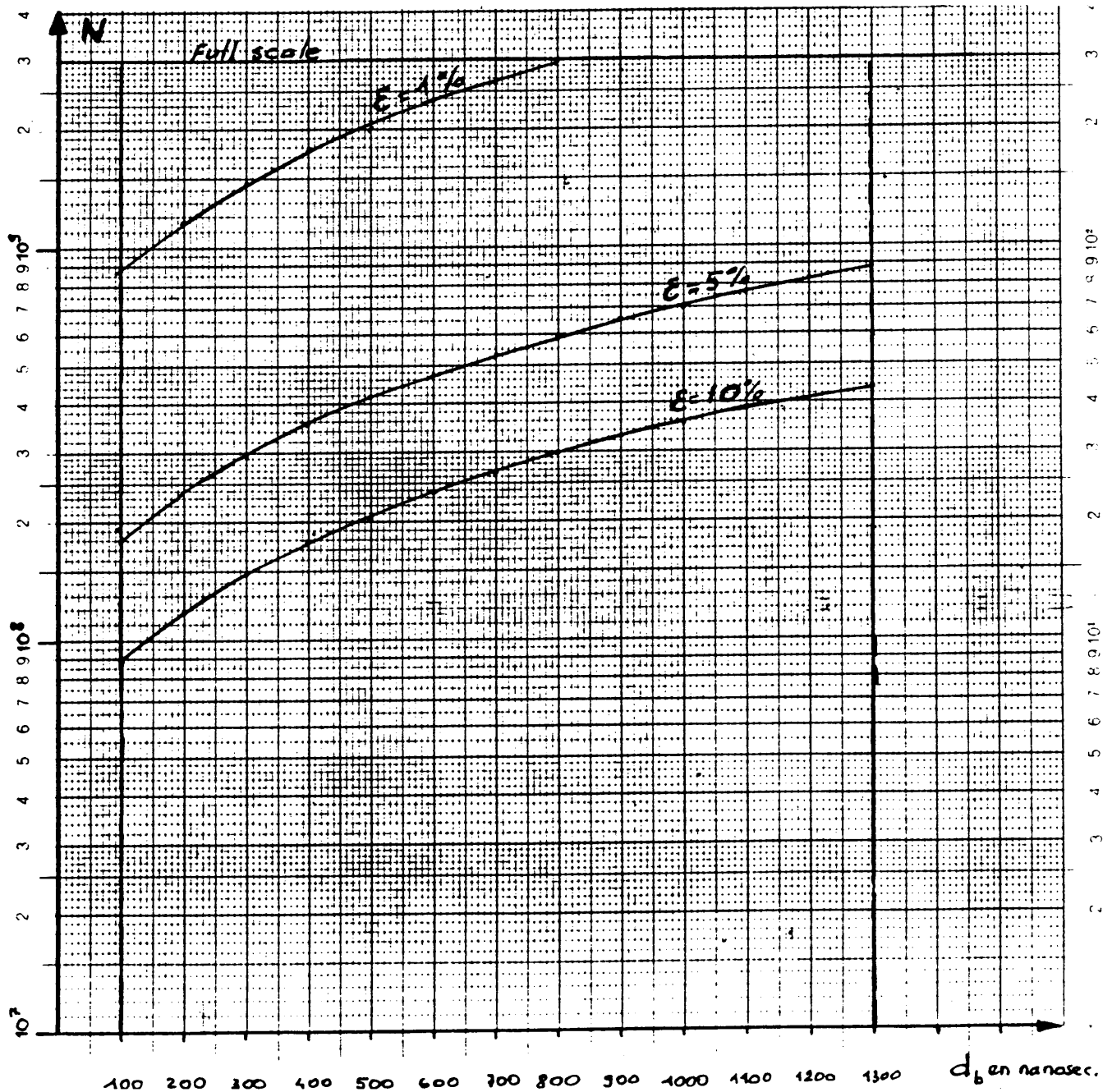


Fig. 3

Distribution

Groupe LEAR

D. ALLEN  
E. ASSEO  
E. BAECKERUD  
S. BAIRD  
J. BENGTSSON  
M. CHANEL  
J. CHEVALLIER  
R. GALIANA  
R. GIANNINI  
F. IAZZOURENE  
P. LEFEVRE  
F. LENARDON  
R. LEY  
D. MANGLUNKI  
E. MARTENSSON  
J.L. MARY  
C. MAZELINE  
D. MOEHL  
G. MOLINARI  
J.C. PERRIER  
T. PETERSSON  
P. SMITH  
N. TOKUDA  
G. TRANQUILLE  
H. VESTERGAARD

Distribution du résumé

Personnel scientifique de la division PS  
/ed