

ANNEXES

Propriétés thermiques de l'eau.

Masse volumique ($kg.m^{-3}$)

$$\rho_e = aT^4 + bT^3 + cT^2 + dT + e$$

$$a = -0.48792680 \times 10^{-7}$$

$$b = 0.27819864 \times 10^{-4}$$

$$c = -0.7525276 \times 10^{-2}$$

$$0.01^\circ C < T < 350^\circ C$$

$$d = 0.111546$$

$$e = 999.085$$

Chaleur massique ($J.Kg^{-1}.K^{-1}$)

$$cp_e = aT^3 + bT^2 + cT + d$$

$$a = 0.749972 \times 10^{-4}$$

$$b = -0.943717 \times 10^{-2}$$

$$0.01^\circ C < T < 270^\circ C$$

$$c = 0.448761$$

$$d = 4186.74$$

Viscosité dynamique ($pa.s$)

$$\mu_e = 10^{(aT^3 + bT^2 + cT + d)}$$

$$a = -0.34612 \times 10^{-6}$$

$$b = 0.95970 \times 10^{-4}$$

$$0.01^\circ C < T < 100^\circ C$$

$$c = -1.4188 \times 10^{-2}$$

$$d = -2.749892$$

Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)

$$k_e = aT^2 + bT + c$$

$$a = -7.85700 \times 10^{-6}$$

$$0.01^\circ C < T < 130^\circ C$$

$$b = 1.88857 \times 10^{-3}$$

$$c = 0.569$$

Propriétés physiques de l'eau:

Propriétés de l'eau à saturation						
θ	ρ	c_p	λ	$10^4 \cdot \mu$	$10^7 \cdot \alpha$	Pr
(°C)	(kg/m ³)	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m ² /s)	
0	1002	4218	0,552	17,90	1,31	13,06
20	1001	4182	0,597	10,10	1,43	7,02
40	995	4178	0,628	6,55	1,51	4,34
60	985	4184	0,651	4,71	1,55	3,02
80	974	4196	0,668	3,55	1,64	2,22
100	960	4216	0,680	2,82	1,68	1,74
120	945	4250	0,685	2,33	1,71	1,45
140	928	4283	0,684	1,99	1,72	1,24
160	910	4342	0,680	1,73	1,73	1,10
180	889	4417	0,675	1,54	1,72	1,00
200	867	4505	0,665	1,39	1,71	0,94
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89
240	816	4756	0,635	1,17	1,64	0,88
260	786	4949	0,611	1,08	1,58	0,87
280	753	5208	0,580	1,02	1,48	0,91
300	714	5728	0,540	0,96	1,32	1,02

Corrélation entre 0 et 100°C

(T: température en °C, T température en K)

Pour l'eau:

- $\rho = -0,00380T^2 - 0,0505T + 1002,6$ Kgm^{-3}
 $r^2 = 0,9982$
- $c_p = 4180$ $JKg^{-1}°C^{-1}$
- $\lambda = -9,87 \cdot 10^{-6} T^2 + 2,238 \cdot 10^{-3} T + 0,5536$ $Wm^{-1}°C^{-1}$
 $r^2 = 0,9987$
- $\mu = 10^{-4} (0,00200T^2 - 0,3389T + 17,199)$ $Pa \cdot s$
 $r^2 = 0,9815$
- $\alpha = 10^{-7} (0,00360T + 1,340)$ $m^2 S^{-1}$
 $r^2 = 0,9734$
- $Pr = 1,577 \cdot 10^{-3} T^2 - 0,261T + 12,501$
 $r^2 = 0,9796$

- $\frac{g\beta\rho^2cp}{\mu\lambda} = (0,0105T^2 + 0,477T - 0,0363)10^9 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\text{m}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}\text{m}^{-3}$
 $r^2 = 0,9992$
- $\log_{10} [\rho_{sat}(T)] = 20,3182 - \frac{2795}{T} - 3,868 \log_{10}(T) \text{ mmHg}$
 $-50^\circ\text{C} < T < 200^\circ\text{C}$
- $L_v = 2495 - 2,346T \text{ KJ.Kg}^{-1}$
 $0^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$

Corrélations utilisées pour déterminer les coefficients d'échanges par convection

Nombre de Reynolds

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu}, \text{ cas du cylindre}$$

$$Re_L = \frac{VL}{\nu} = \frac{\rho VL}{\mu}, \text{ cas de la plaque}$$

V	vitesse	[m.s ⁻¹]
D, L	diamètre, longueur caractéristique	[m]
ρ	masse volumique	[kg.m ⁻³]
ν	viscosité cinématique	[m ² .s ⁻¹]
μ	viscosité dynamique	[kg.s ⁻¹ .m ⁻¹]
$RQ: \mu = \nu \rho$		

Nombre de Nusselt

$$Nu_D = \frac{hD}{k}, \text{ cas du cylindre}$$

$$Nu_L = \frac{hL}{k}, \text{ cas de la plaque}$$

D, L	diamètre, longueur caractéristique	[m]
h	coefficient d'échange convectif	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
k	conductivité thermique	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]

Nombre de Prandtl

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{\rho C_p \nu}{\alpha} = \frac{\nu}{\alpha}$$

C_p	capacité calorifique	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
k	conductivité thermique	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
μ	viscosité dynamique	[kg.s ⁻¹ .m ⁻¹]
ρ	masse volumique	[kg.m ⁻³]
ν	viscosité cinématique	[m ² .s ⁻¹]
α	diffusivité thermique	[m ² .s ⁻¹]

Plaque plane, flux laminaire externe $0.6 < Pr < 50$

$$Nu_x = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}$$

Cylindre, flux externe, conditions moyennes $Pr > 0.7, 0.4 < Re_D < 4.10^5$

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^{1/3}$$

Re_D	C	m
0.4 - 4	0.989	0.330
4 - 40	0.911	0.385
40 - 4000	0.683	0.466
4000 - 40000	0.193	0.618
40000 - 400000	0.027	0.805

Cylindre, flux laminaire interne $Pr > 0.6$

$$Nu_D = 4.36 \text{ flux de chaleur uniforme}$$

$$Nu_D = 3.66 \text{ température de surface uniforme}$$

Cylindre, flux turbulent interne $0.6 < Pr < 160, Re_D > 10000$

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$$

$n = 0.4$ lorsque la température de surface est $>$ à la température du fluide (**chauffage**)

$n = 0.3$ lorsque la température de surface est $<$ à la température du fluide (**refroidissement**)

RQ : les deux mêmes précédentes corrélations concernant les flux internes dans des cylindres s'utilisent aussi dans le cas d'autres géométries en faisant intervenir la notion de diamètre hydraulique D_h défini par :

$$D_h = \frac{4A_c}{P}$$

D_h	diamètre hydraulique	[m]
A_c	section de passage	[m ²]
P	périmètre mouillé	[m]

Corrélations utilisées pour déterminer l'efficacité de l'échangeur par la méthode NUT

Co-courant

$$E = \frac{1 - e^{-NUT(1+C_r)}}{1 + C_r}$$

Contre-courant

$$E = \frac{e^{-NUT(1-C_r)} - 1}{C_r e^{-NUT(1-C_r)} - 1}$$

Une passe de calandre - multiple de 2 passes de tubes

$$E = \frac{2}{1 + C_r + \sqrt{1 + C_r^2} * \frac{1 + e^{-NUT\sqrt{1+C_r^2}}}{1 - e^{-NUT\sqrt{1+C_r^2}}}}$$

Courants croisés - aucun fluide n'est mixé

$$E = 1 - e^{\frac{1}{C_r} NUT^{0.22} (e^{-C_r NUT^{0.78}} - 1)}$$

Courants croisés - seul le fluide à C_{min} est mixé

$$E = 1 - e^{-\frac{1}{C_r} (1 - e^{-C_r NUT})}$$

Courants croisés - seul le fluide à C_{max} est mixé

$$E = \frac{1}{C_r} \left(1 - e^{-C_r (1 - e^{-NUT})} \right)$$

Corrélations utilisées pour déterminer le facteur correctif F dans la méthode DTLM

Rappels

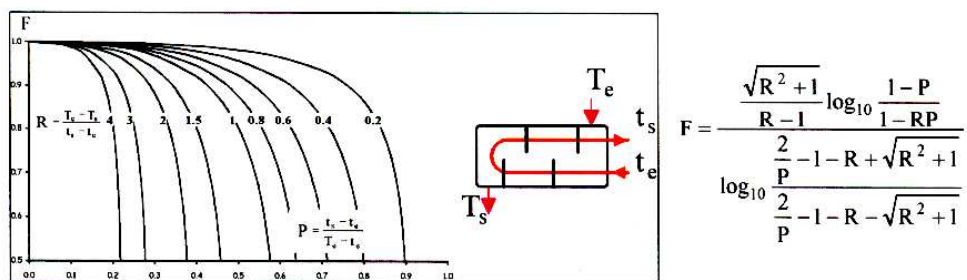
Ces corrélations utilisent les nombres adimensionnels suivants :

$$R = \frac{T_e - T_s}{t_s - t_e}$$

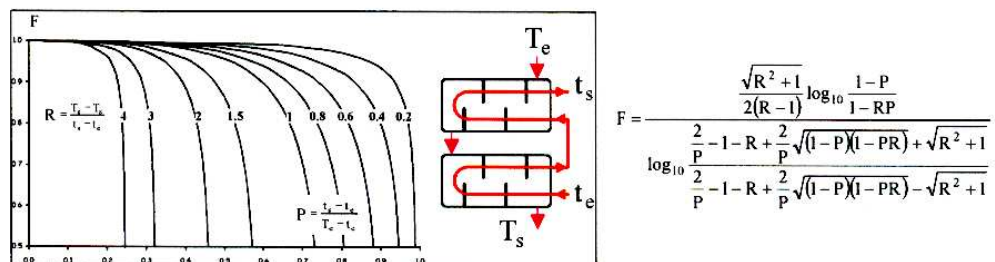
$$P = \frac{t_s - t_e}{T_e - T_s}$$

où T fait référence au fluide chaud et t au fluide froid, e et s représentant respectivement l'entrée et la sortie de l'échangeur.

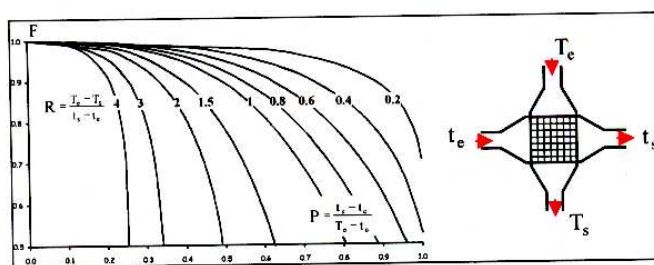
Une passe de calandre - multiple de 2 passes de tubes



Deux passes de calandre - multiple de 2 passes de tubes



Courants croisés - aucun fluide n'est mixé



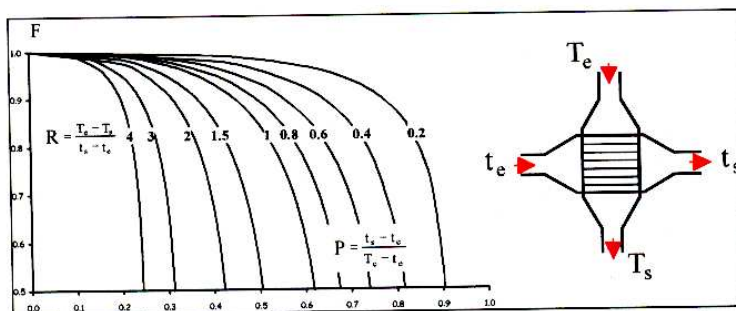
$$r = \sum_{u=0}^{\infty} \sum_{v=0}^{\infty} (-1)^{u+v} \frac{(u+v)!}{u!(u+1)!v!(v+1)!} \left(\frac{p}{r}\right)^u \left(\frac{q}{r}\right)^v$$

avec :

$$q=P, p=q.R, F = \frac{r}{r_0}$$

$$r_0 = \frac{p-q}{\log_e \frac{1-q}{1-p}}$$

Courants croisés - un seul fluide est mixé

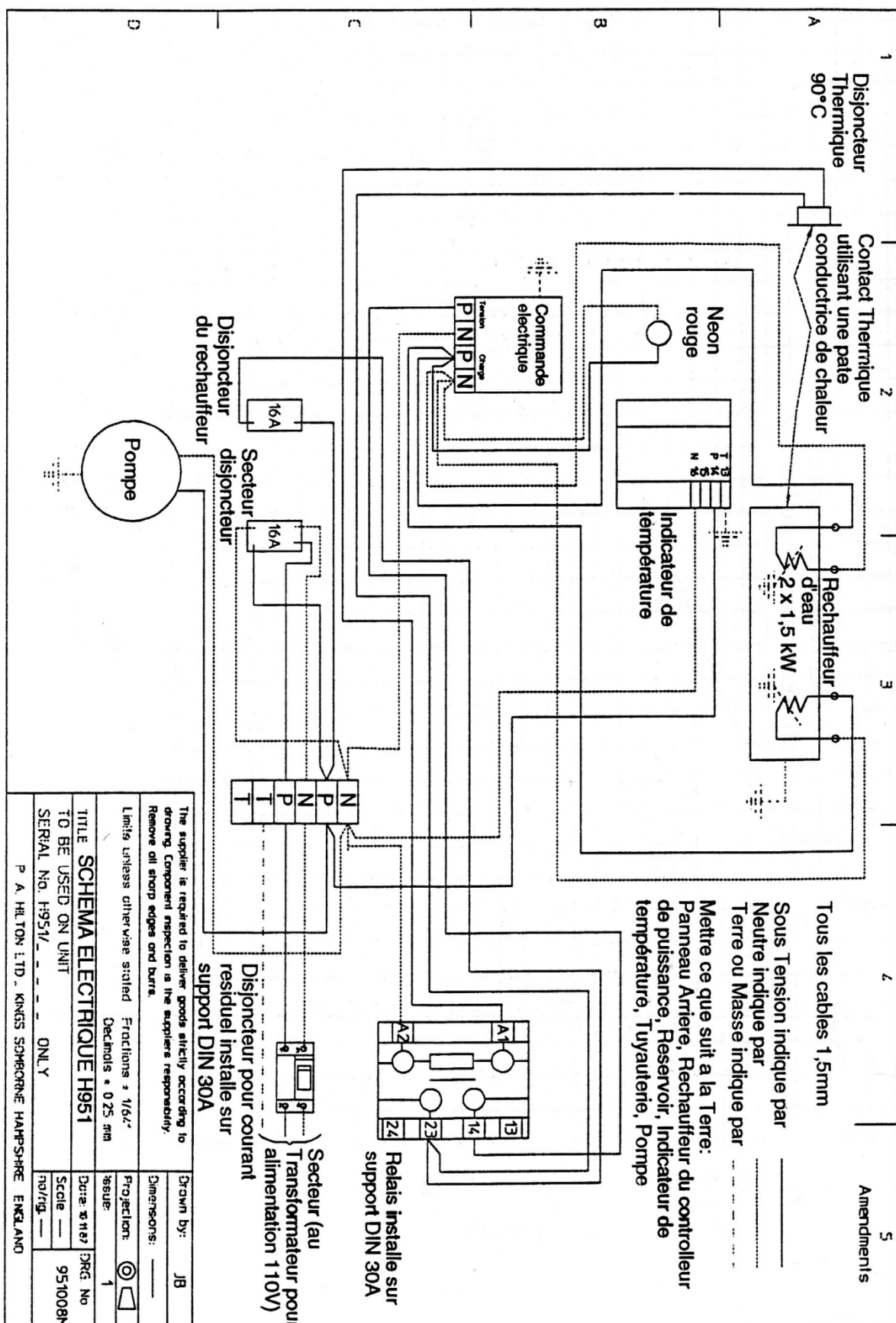


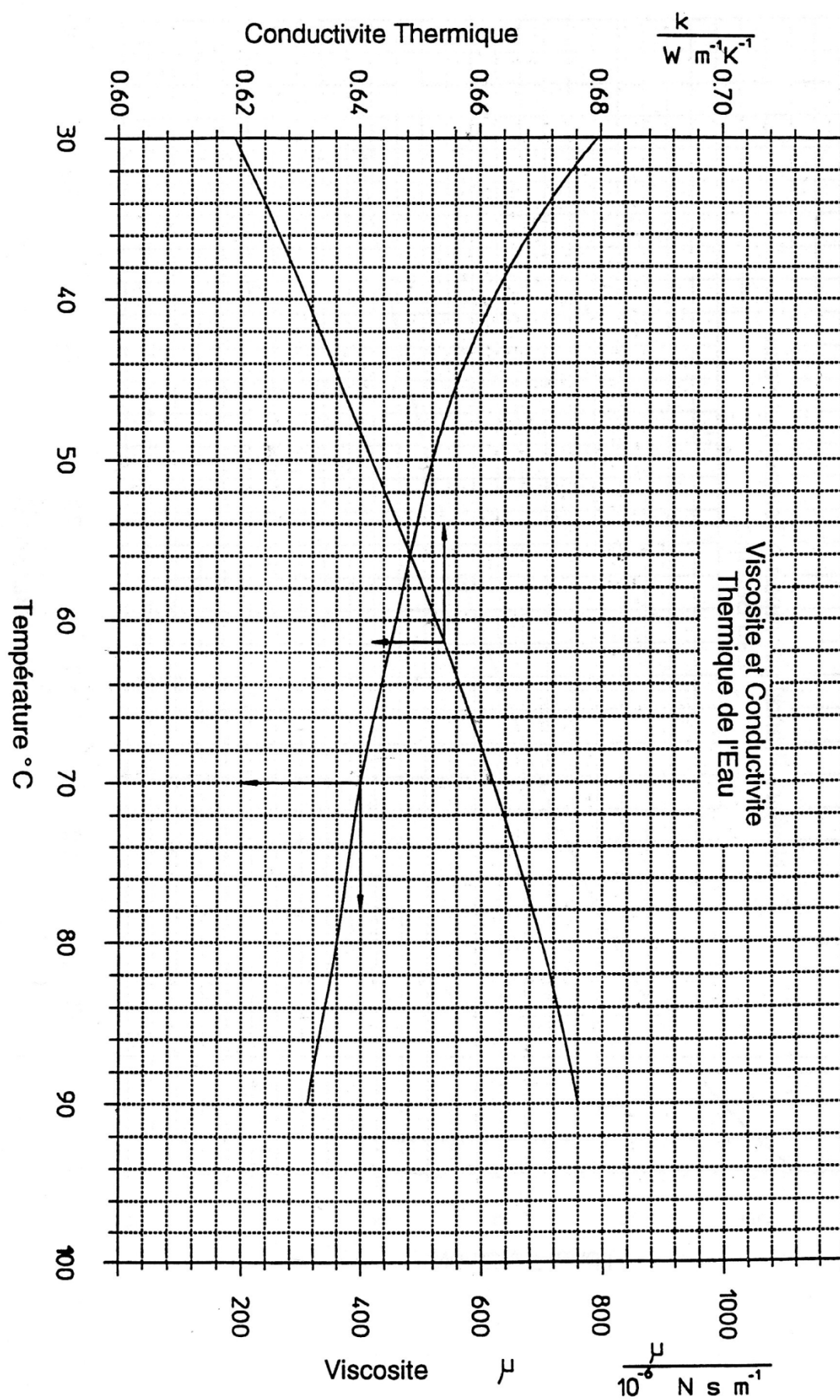
$$r = \frac{q}{\log_e \frac{1}{1 - \frac{q}{p} \log_e \frac{1}{1-p}}}$$

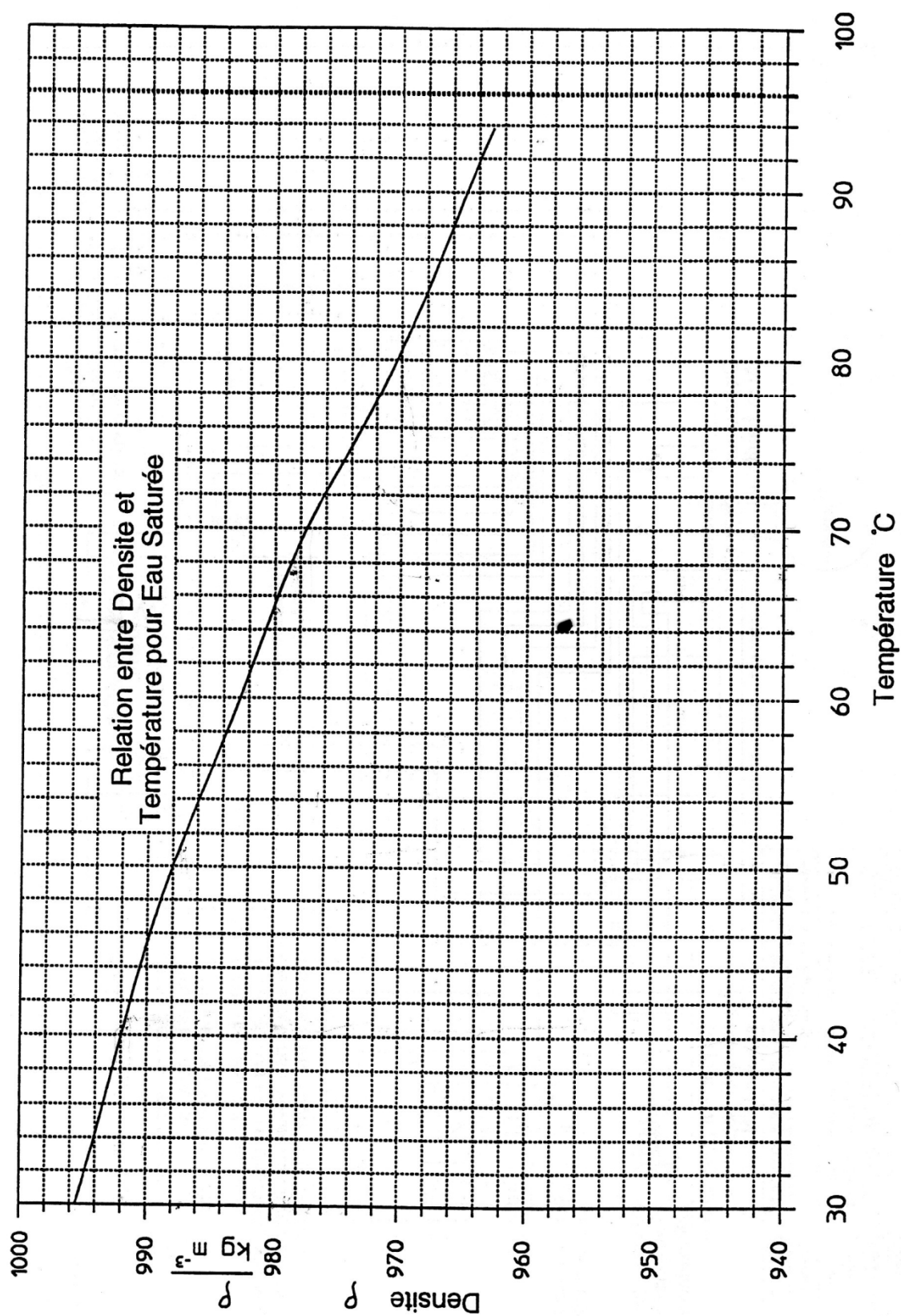
avec :

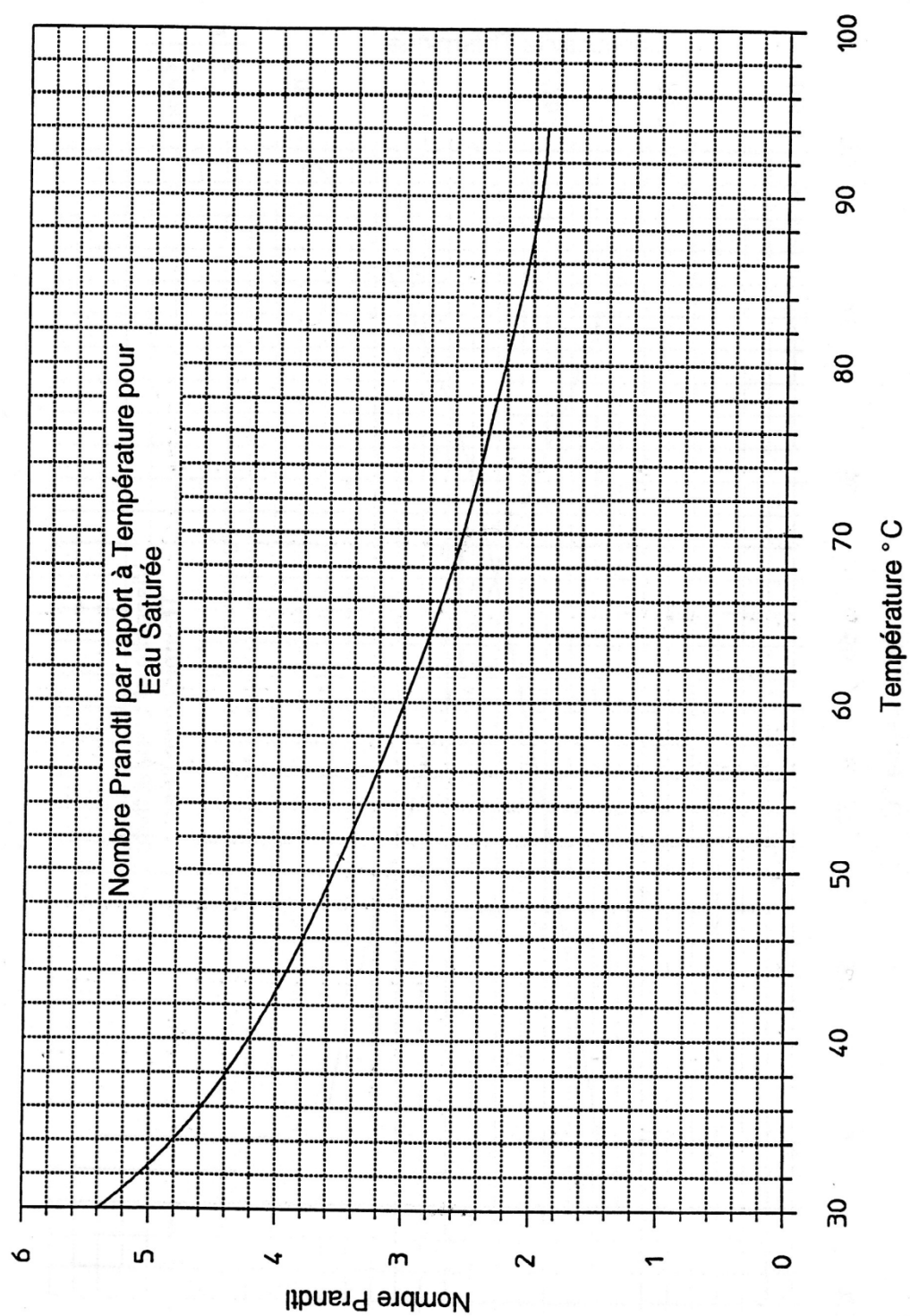
$$q=P, p=q.R, F = \frac{r}{r_0}$$

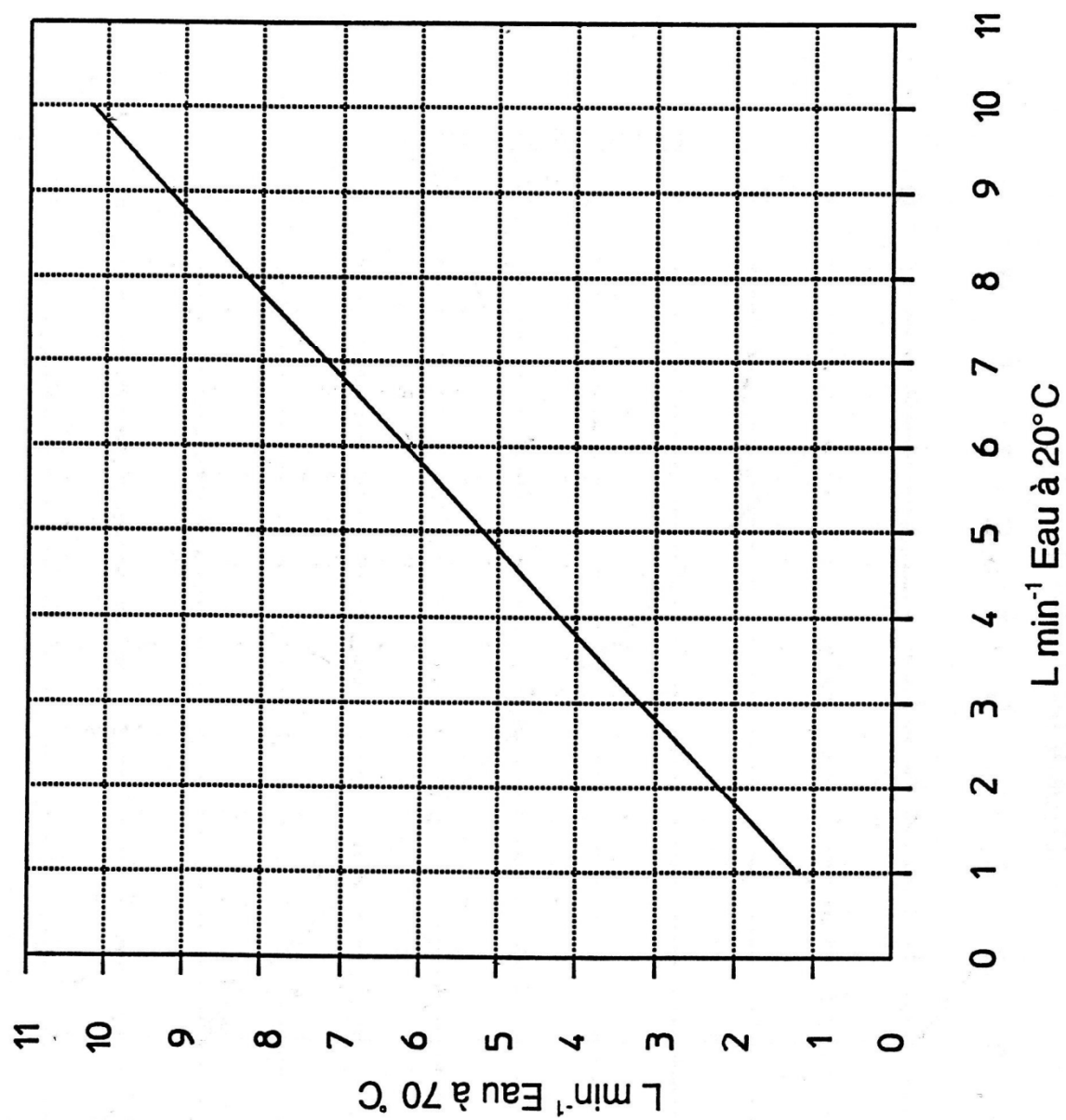
$$r_0 = \frac{p-q}{\log_e \frac{1-q}{1-p}}$$

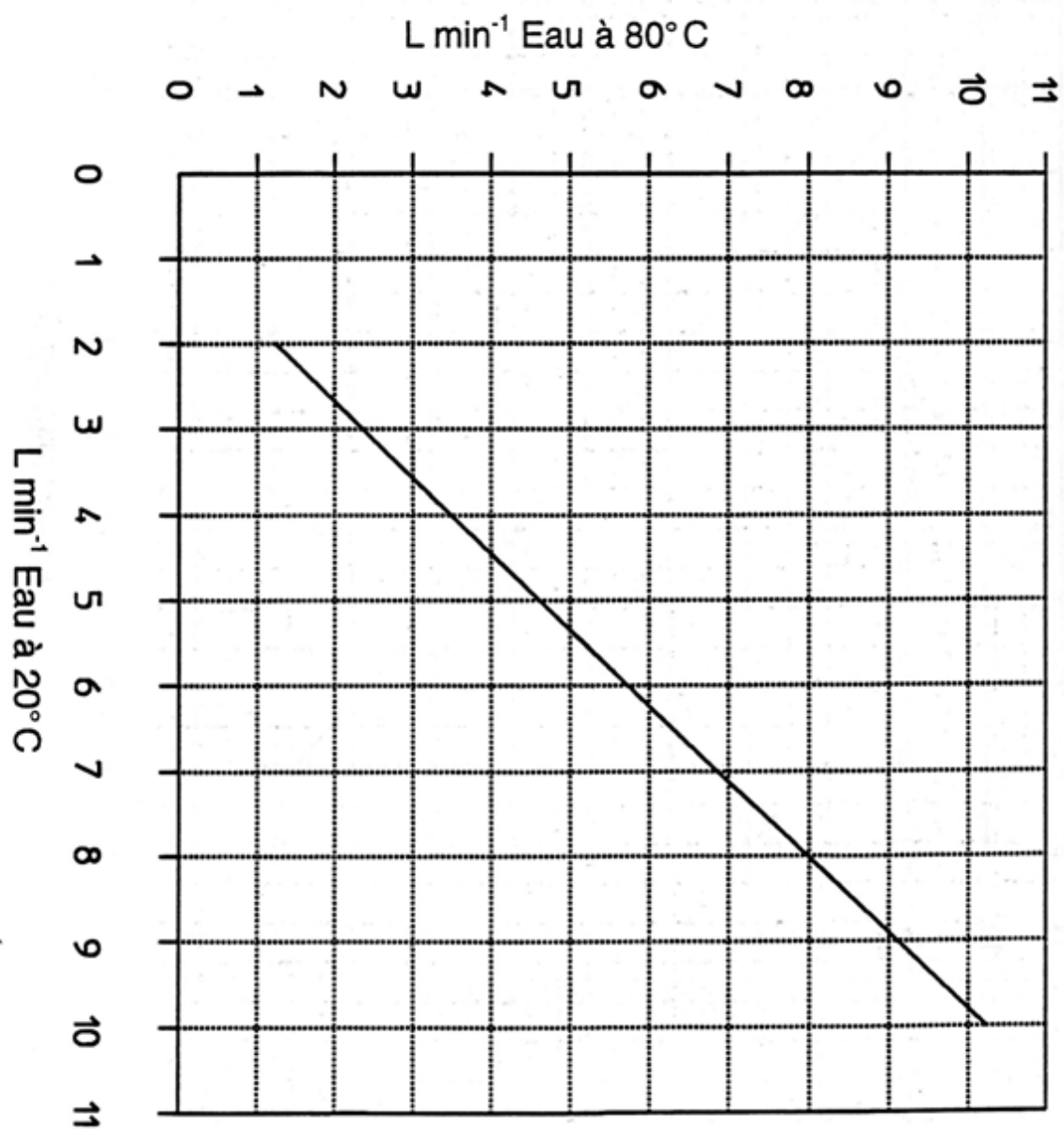


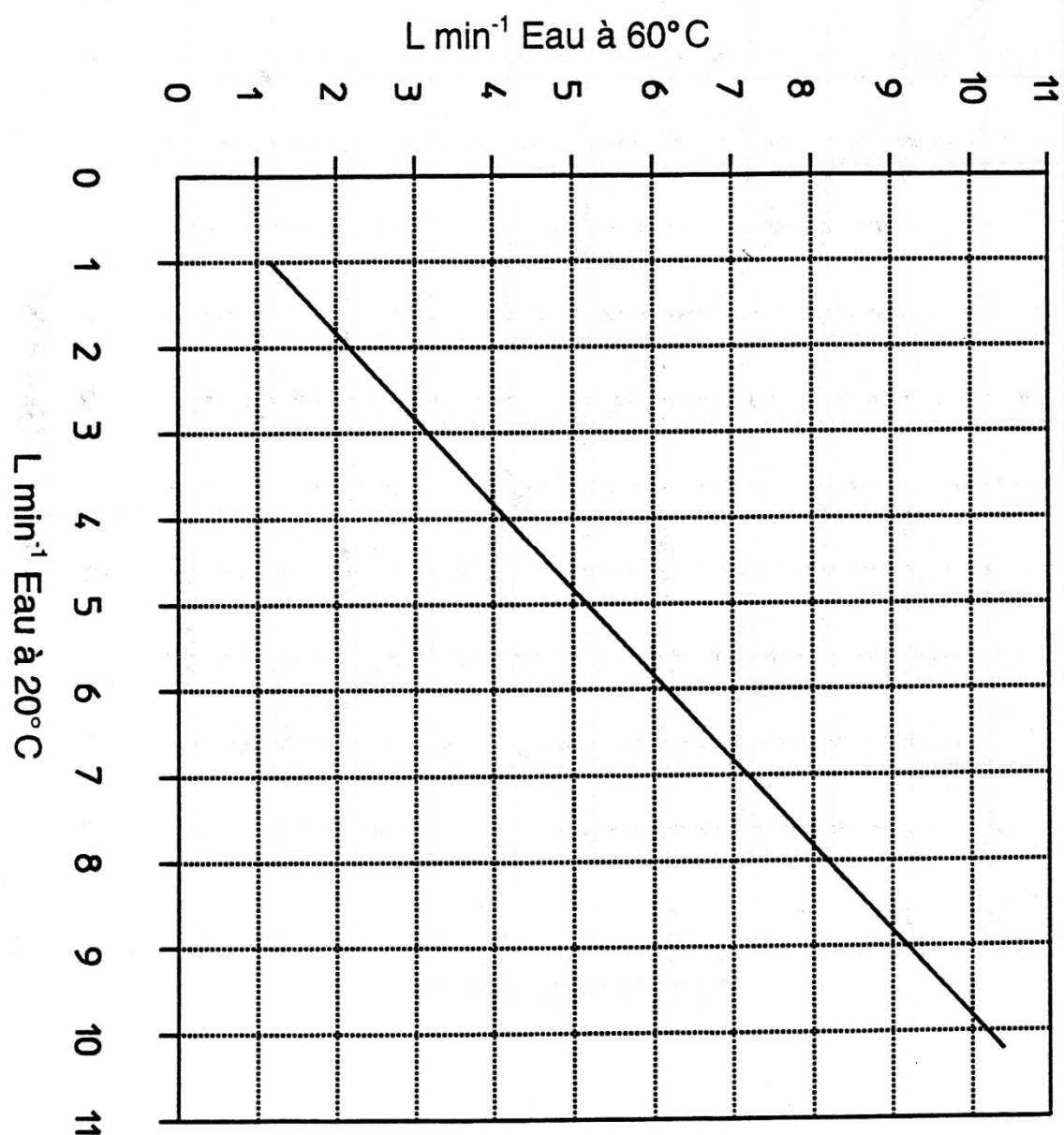


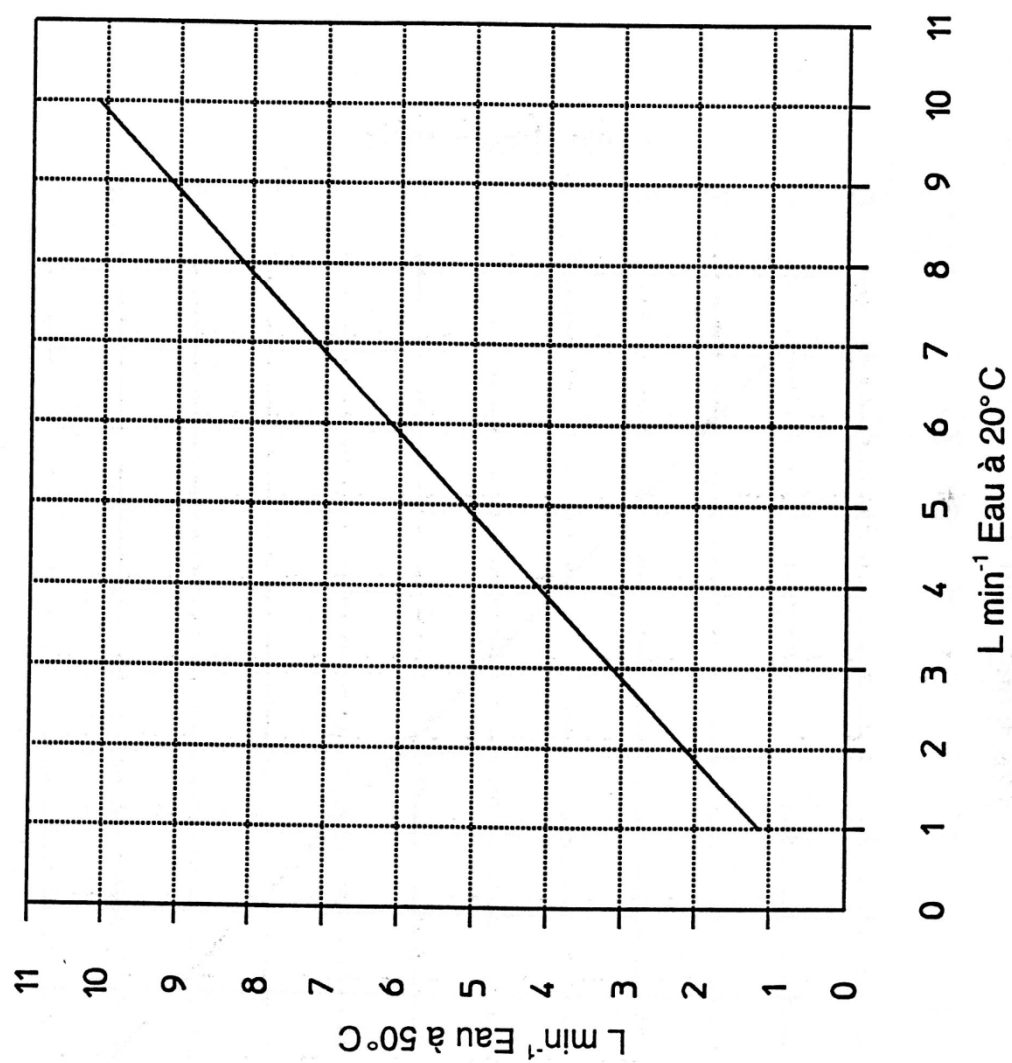


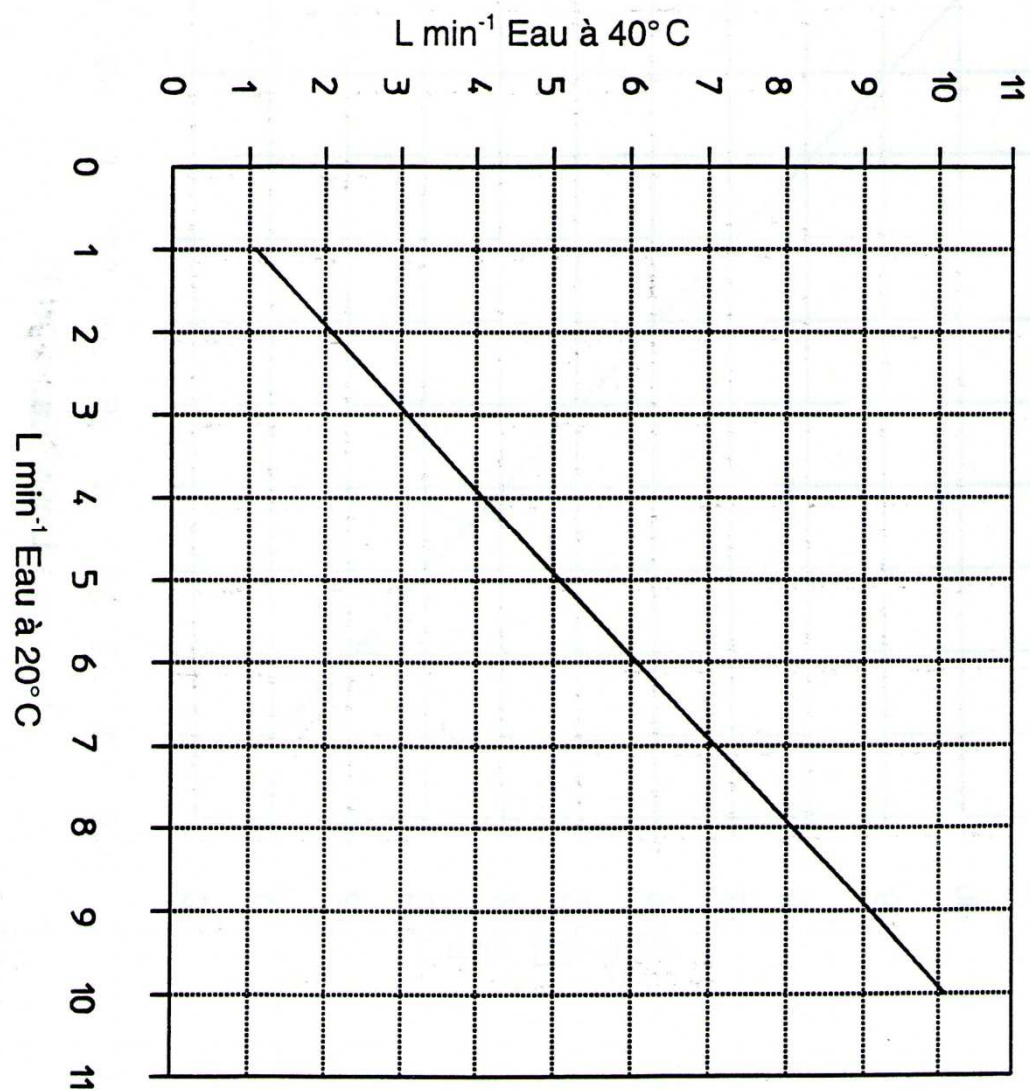


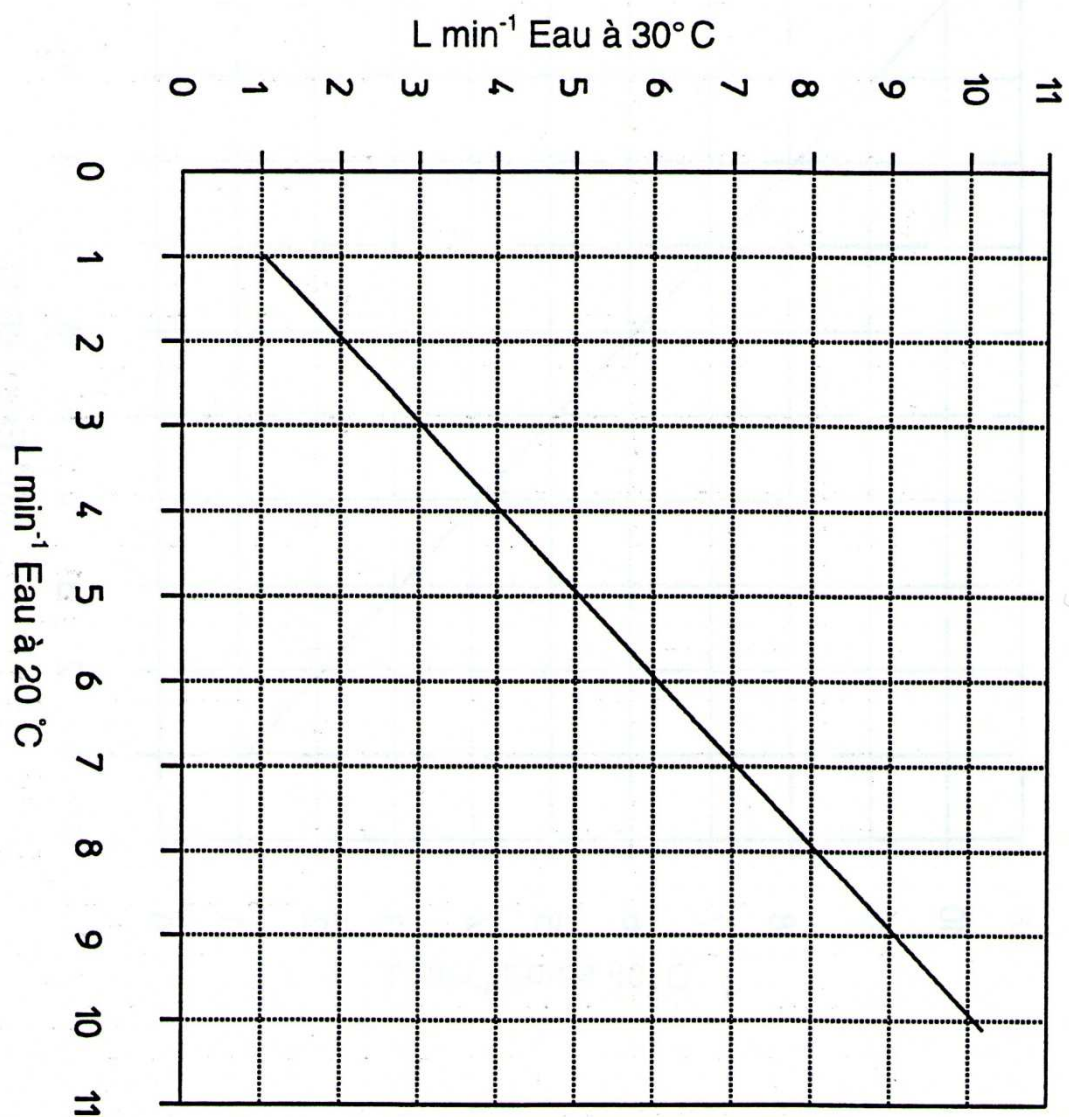


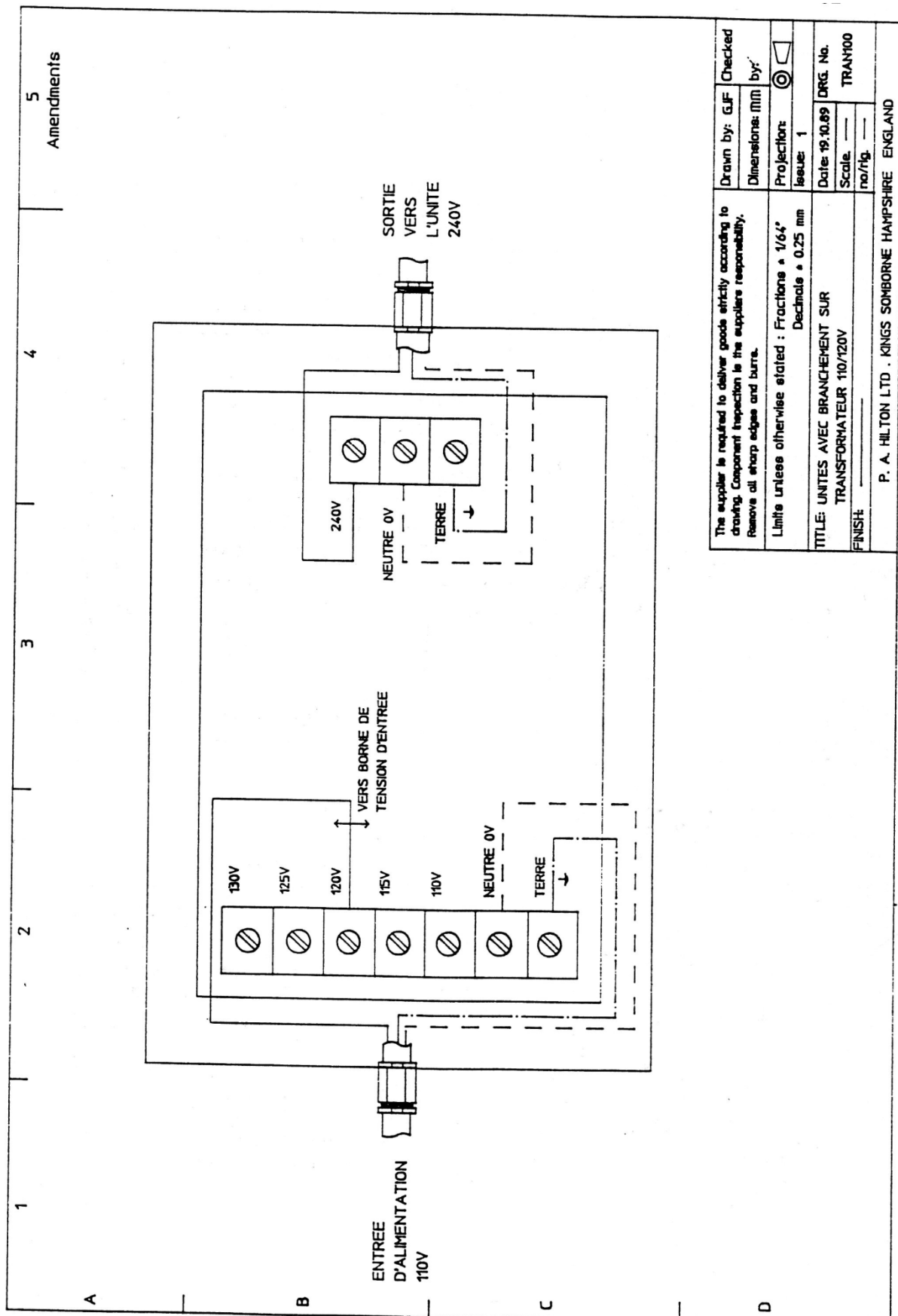












The supplier is required to deliver goods strictly according to drawing. Component inspection is the suppliers responsibility. Remove all sharp edges and burrs.		Drawn by: G.J.F.	Checked
		Dimensions: mm	by:
Limits unless otherwise stated : Fractions $\pm 1/64"$ Decimals ± 0.25 mm		Projection:	
TITLE: UNITES AVEC BRANCHEMENT SUR TRANSFORMATEUR 110/120V		Issue: 1	
		Date: 19.10.89	DRG. No.
FINISH:		Scale: —	TRAN100
		no./lg.	—
P. A. HILTON LTD . KINGS SOMBORNE HAMPSHIRE ENGLAND			

H951 UNITE DE TRANSFERT DE CHALEUR EAU-EAU A ECOULEMENT TURBULENT

