Annexes des Travaux Dirigés de l'UE 2E102 « Sources d'énergie électrique et capteurs »

Les textes de TD sont à préparer avant la séance.

Apporter en TD calculatrice et petit matériel (crayon, règle, etc.) ainsi que ce fascicule d'annexes.

2018-2019

1. PRODUCTION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

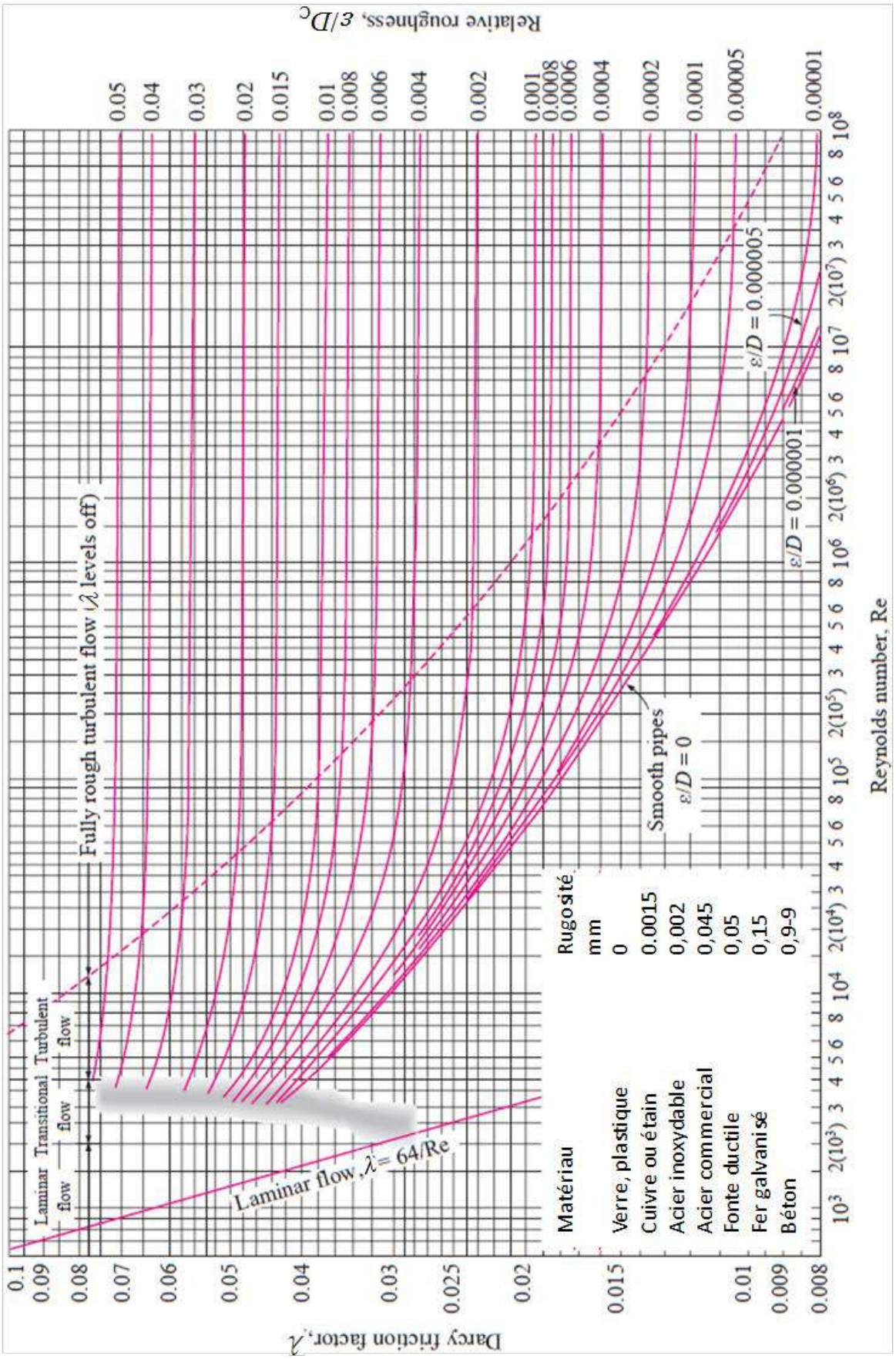


Figure A.1.1. Abaque de Moody donnant le coefficient de frottement λ pour des flux définis par leur nombre de Reynolds Re circulant dans des conduites circulaires de diamètre D_C et de rugosité ε (rugosité relative ε / D_C).
Source : Y.A. Çengel and J.M. Cimbala, *Fluids mechanics: fundamentals and applications*, 1st Ed., McGraw-Hill (2006)

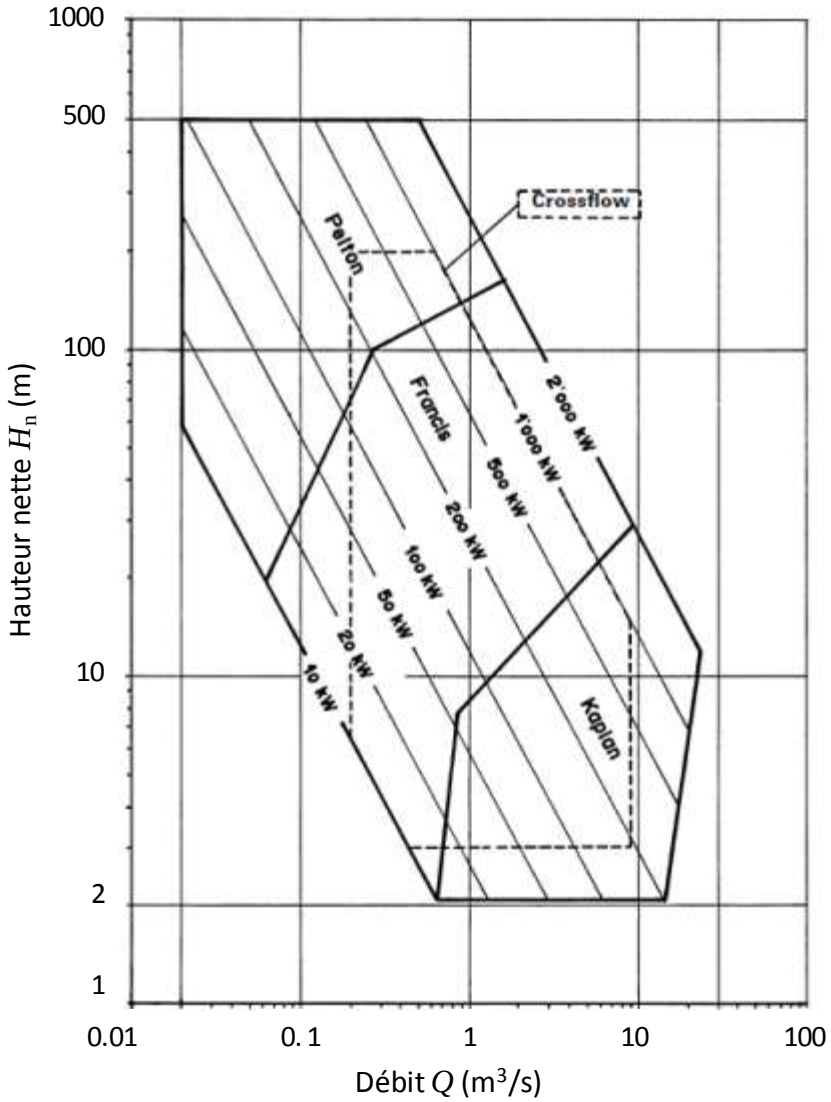


Figure A.1.2. Diagramme de sélection de mini-turbines.

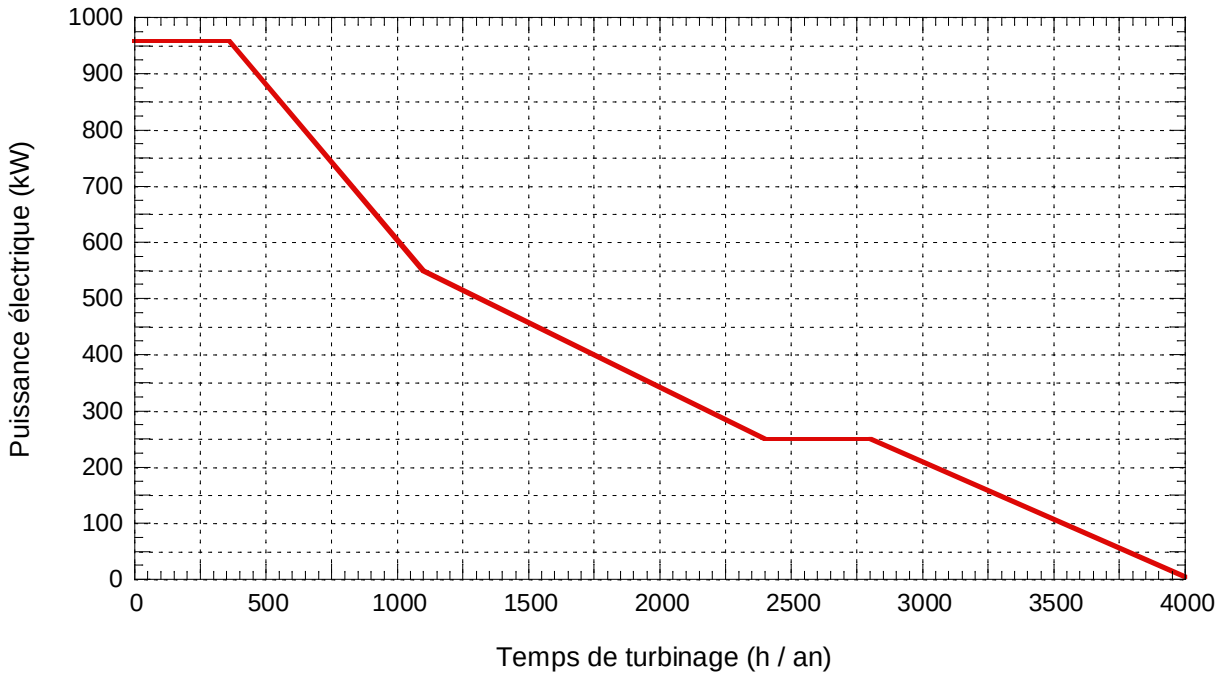


Figure A.1.3. Courbe de puissance électrique en fonction du temps de turbinage.

2. ÉNERGIE SOLAIRE ET SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

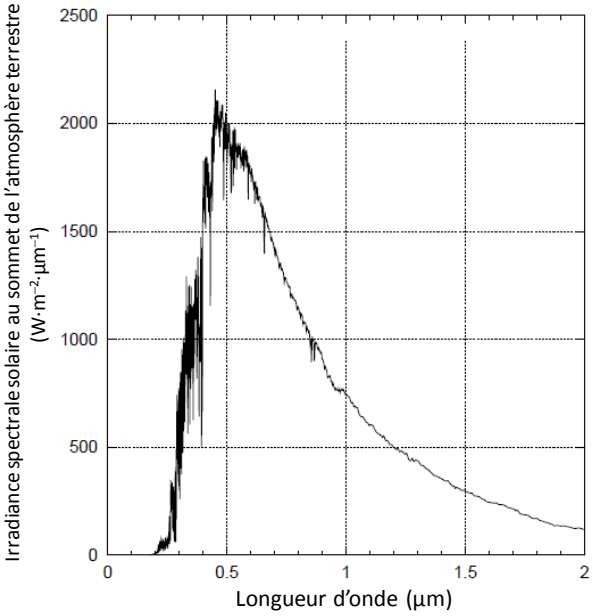


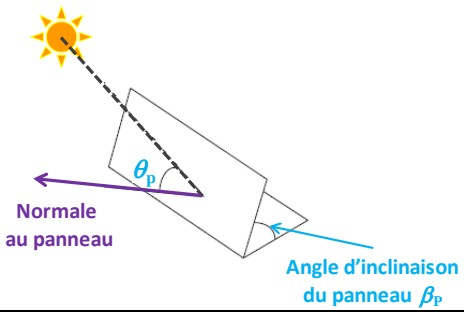
Figure A.2.1. Spectre solaire AM0 extraterrestre.

- ✓ Latitude Φ ; Longitude L.
- ✓ Déclinaison δ : $\delta(°) = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365}(j+284)\right]$, où j est le rang du jour dans l'année (cf. tableau page 4).
- ✓ Hauteur h et azimut a : $\begin{cases} \cos h \cos a = \cos\delta \cos H \sin\Phi - \sin\delta \cos\Phi \ ; \\ \cos h \sin a = \cos\delta \sin H \ ; \\ \sin h = \cos\delta \cos H \cos\Phi + \sin\delta \sin\Phi. \end{cases}$
- ✓ Hauteur au point de culmination (midi solaire = zénith solaire) : $h_z(°) = 90 - \Phi + \delta$.
- ✓ Distance zénithale : $\theta(°) = 90 - h$.
- ✓ Éclairement direct sur le plan horizon : $E_i = A \exp(-k\, AM)$, où

  $A = 1160 + 75 \sin\left[\frac{360}{365}(j-275)\right]$, $k = 0,174 + 0,035 \sin\left[\frac{360}{365}(j-100)\right]$ et AM = nombre de masse d'air.
- ✓ Éclairement diffus sur le plan horizon : $E_d = C E_i$, où $C = 0,095 + 0,04 \sin\left[\frac{360}{365}(j-100)\right]$.
- ✓ Éclairement direct E_{ip} et éclairement diffus E_{dp} sur un panneau incliné d'un angle β_p avec le plan horizon :

  $E_{ip} = E_i \cos\theta_p$, où $\cos\theta_p = \cos h \cos(a - a_p) \sin\beta_p + \sin h \cos\beta_p$.

  $E_{dp} = E_d \left(\frac{1+\cos\beta_p}{2}\right)$.



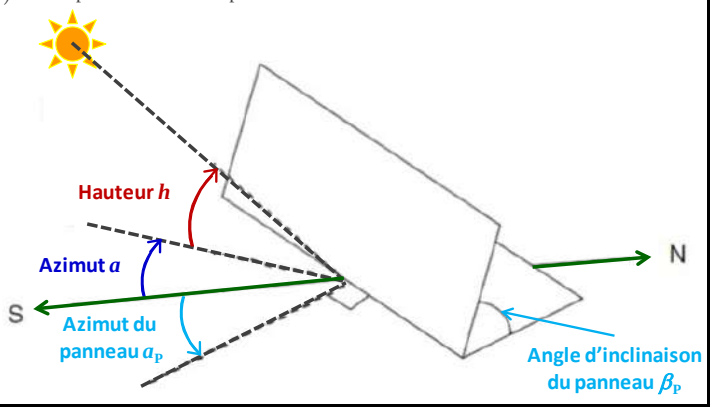


Figure A.2.2. Données et expressions utiles pour l'exercice n°2.

Rang *j* du premier jour de chaque mois de l'année

Mois	*j*	Mois	*j*
Janvier	1	Juillet	182
Février	32	Août	213
Mars	60	Septembre	244
Avril	91	Octobre	274
Mai	121	Novembre	305
Juin	152	Décembre	335

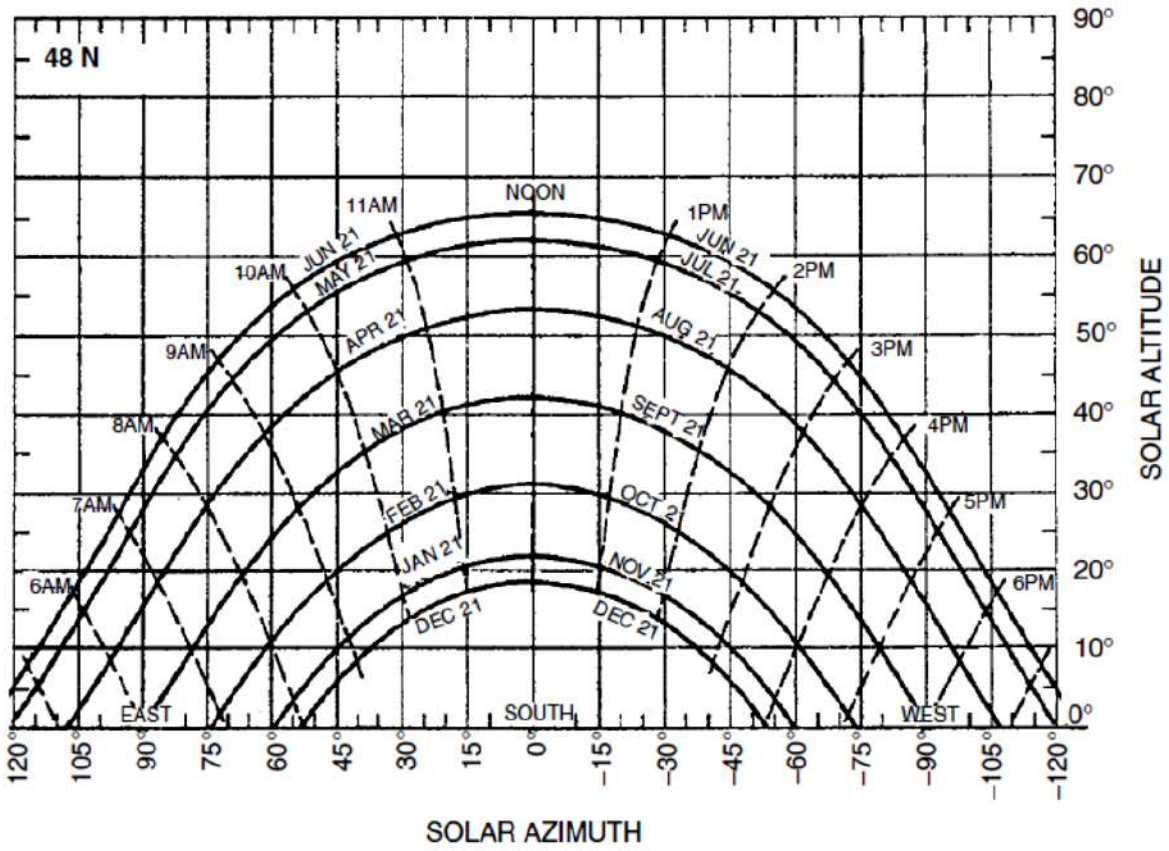


Figure A.2.3. Diagramme hauteur h – azimut a de la course du Soleil pendant une année (latitude $\Phi = 48°$ N).
Source : © John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2004).

Sunmodule®
SW 250 mono

COMPORTEMENT LORS DE CONDITIONS DE TEST STANDARD (STC*)

		SW 250
Puissance au point de puissance maximale	P_{max}	250 Wc
Tension à vide	U_{oc}	37,8 V
Tension au point de puissance maximale	U_{mpp}	31,1 V
Courant de court-circuit	I_{sc}	8,28 A
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	8,05 A

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

COMPORTEMENT À 800W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 250
Puissance au point de puissance maximale	P_{max}	183,3 Wc
Tension à vide	U_{oc}	34,6 V
Tension au point de puissance maximale	U_{mpp}	28,5 V
Courant de court-circuit	I_{sc}	6,68 A
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	6,44 A

Faible réduction du rendement en conditions de charge partielle à 25 °C: à 200 W/m2, la puissance est égale à 95 % (+/- 3 %) de la puissance en condition STC.

MATÉRIAUX UTILISÉS

Cellules par panneau solaire	60
Type de cellules	monocristallin
Dimensions des cellules	156 mm x 156 mm
Vue de face	verre trempé (EN 12150)

GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES RELATIVES À L'INTÉGRATION OPTIMALE DANS LE SYSTÈME

Tension de système maximale classe II	1000 V
Valeurs limites de courant inverse	16 A
Charge neige et vent selon IEC 61215	5,4 kN/m²
Nombre de diode bypass	3

GRANDEURS CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

NOCT	47 °C
CT I_{sc}	0,042 %/K
CT U_{oc}	-0,33 %/K
CT P_{mpp}	-0,45 %/K

AUTRES DONNÉES

Tolérance de mesure	+/- 3 %
Boîte de jonction	IP65
Connecteur	MC4
SolarWorld: tri Plus[1)]	$P_{Flash} \geq P_{max}$

Figure A.2.4. Caractéristiques du module photovoltaïque Sunmodule® SW 250 mono fabriqué par SolarWorld.
Source : www.solarworld.de.

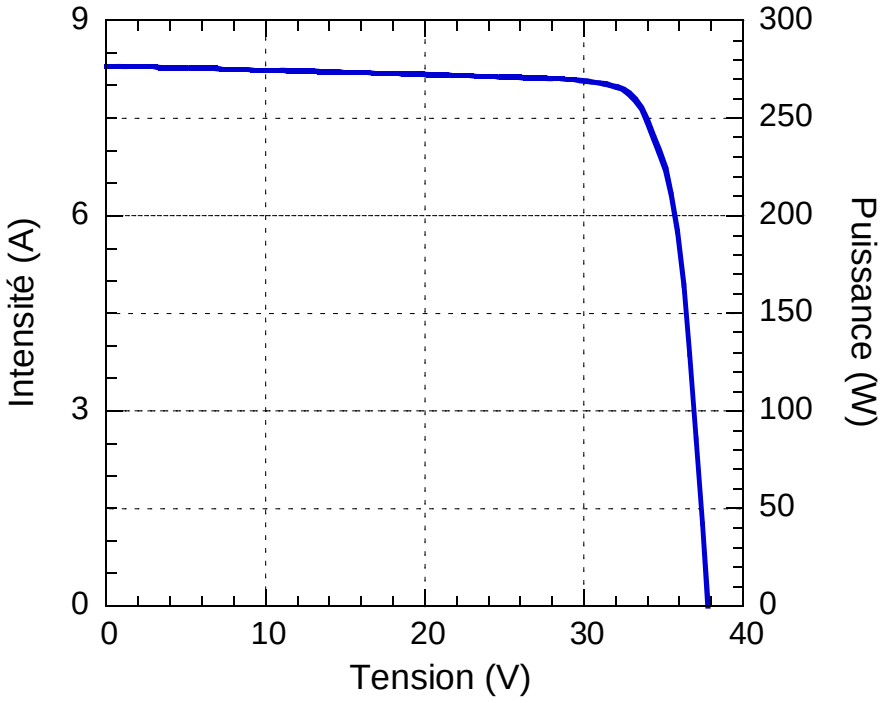


Figure A.2.5. Caractéristiques courant-tension (courbe tracée) et puissance-tension (à tracer) du module Sunmodule® SW 250 sous conditions de test standard.

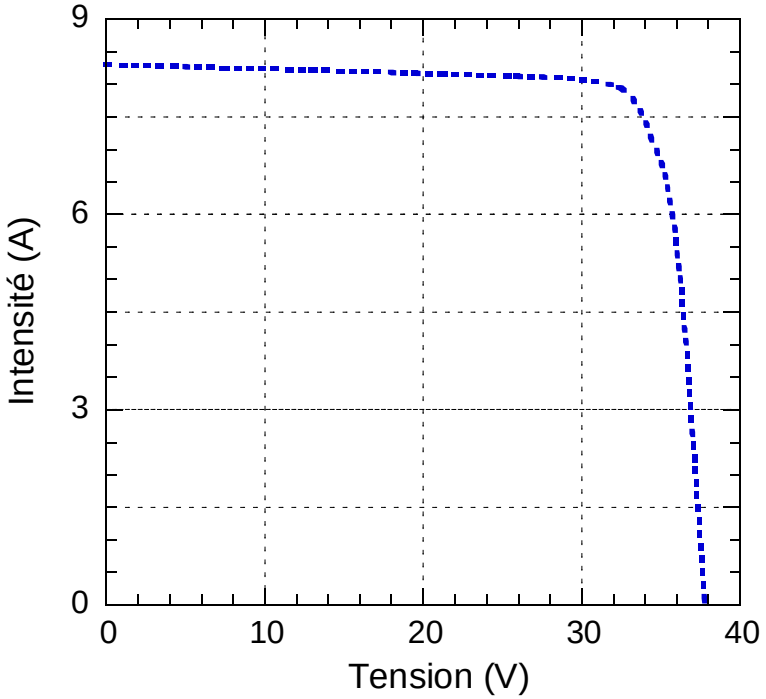


Figure A.2.6. Caractéristiques courant-tension du module Sunmodule® SW 250 :
- courbe en traits pointillés : sous conditions de test standard ;
- courbe a, à tracer : lorsque l'éclairement diminue de 50% à température constante de 25°C ;
- courbe b, à tracer : lorsque la température est de 70°C à éclairement constant de 1000 W/m^2.

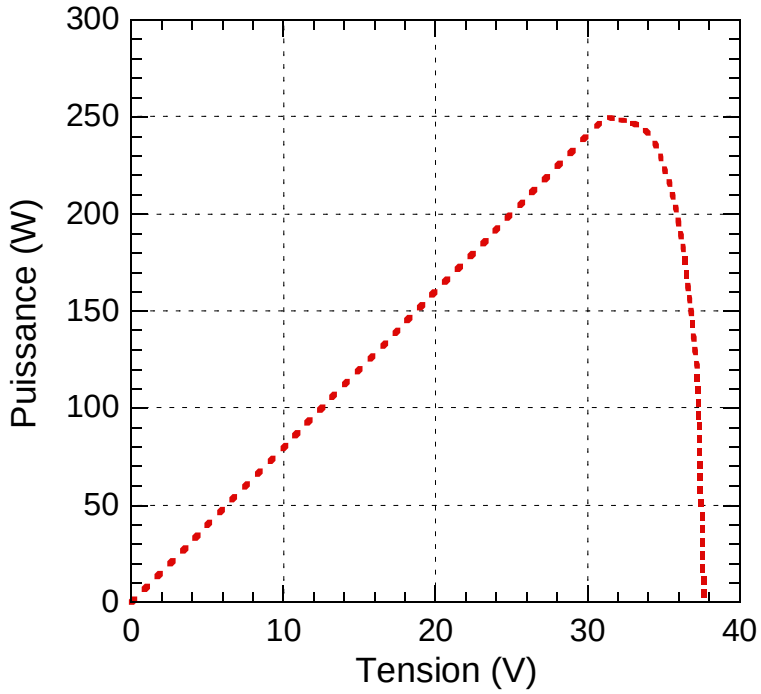


Figure A.2.7. Caractéristiques puissance-tension du module Sunmodule® SW 250 :
- courbe en traits pointillés : sous conditions de test standard ;
- courbe c, à tracer : lorsque l'éclairement diminue de 50% à température constante de 25°C ;
- courbe d, à tracer : lorsque la température est de 70°C à éclairement constant de 1000 W/m^2.

Caractéristiques techniques (VDE 0126)

Caractéristiques d'entrée (CC)	
Puissance maximale du générateur photovoltaïque(1)	5400 Wc
Plage de tension MPP(2)	125 V à 700 V
Tension maximale à vide	750 V
Courant maximal	3 x 8,5 A
Raccordement sur connecteurs MC3 Multi-contact®	3 paires
Caractéristiques de sortie (CA)	
Puissance nominale	4600 W
Puissance maximale	5100 W
Tension nominale	230 V
Tension mini (paramétrage par défaut)	198 V
Autres paramétrages possibles de la tension mini	180 V à 251 V
Tension maxi (paramétrage par défaut)	251 V
Autres paramétrages possibles de la tension maxi	198 V à 300 V
Fréquence nominale	50 Hz
Fréquence mini (paramétrage par défaut)	49,81 Hz
Autres paramétrages possibles de la fréquence mini	48 Hz à 52 Hz
Fréquence maxi (paramétrage par défaut)	50,19 Hz
Autres paramétrages possibles de la fréquence maxi	48 Hz à 52 Hz
Courant nominal	20 A
Courant maximal	26 A
Facteur de puissance	~1
Facteur de distorsion	<3 %
Caractéristiques internes	
Rendement maximal	>96 %
Rendement européen	>94,5 %
Consommation propre en service	~9 W
Consommation propre à l'arrêt (la nuit...)	0 W
Caractéristiques mécaniques	
Boîtier	Métallique
Refroidissement	Par convection naturelle (sans ventilateur)
Masse	27 kg
Dimensions (longueur x hauteur x profondeur) en mm	430 x 530 x 130
Température ambiante de fonctionnement	-20 °C à +55 °C
Humidité relative (HR)	0 % à 95 %, sans condensation
Indice de protection	IP65

Figure A.2.8. Caractéristiques de l'onduleur SunEzy 600E. Source : www.schneider-electric.com.

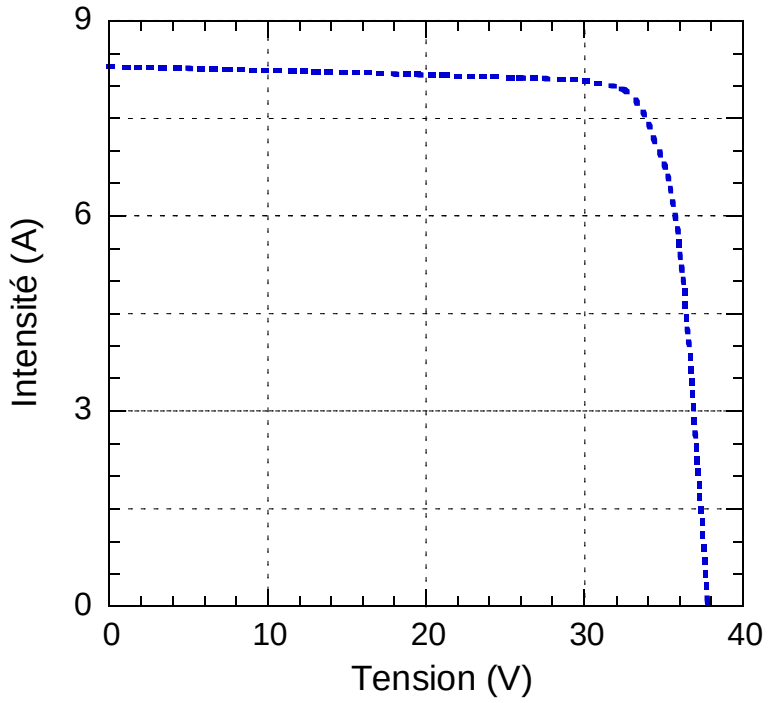


Figure A.2.9. Caractéristiques courant-tension du module Sunmodule® SW 250 :
- courbe en traits pointillés : sous conditions de test standard ;
- courbe e, à tracer : lorsqu'une cellule est ombrée à 60%.

3. CONVERSION D'ÉNERGIE (1) : EFFETS THERMOÉLECTRIQUES

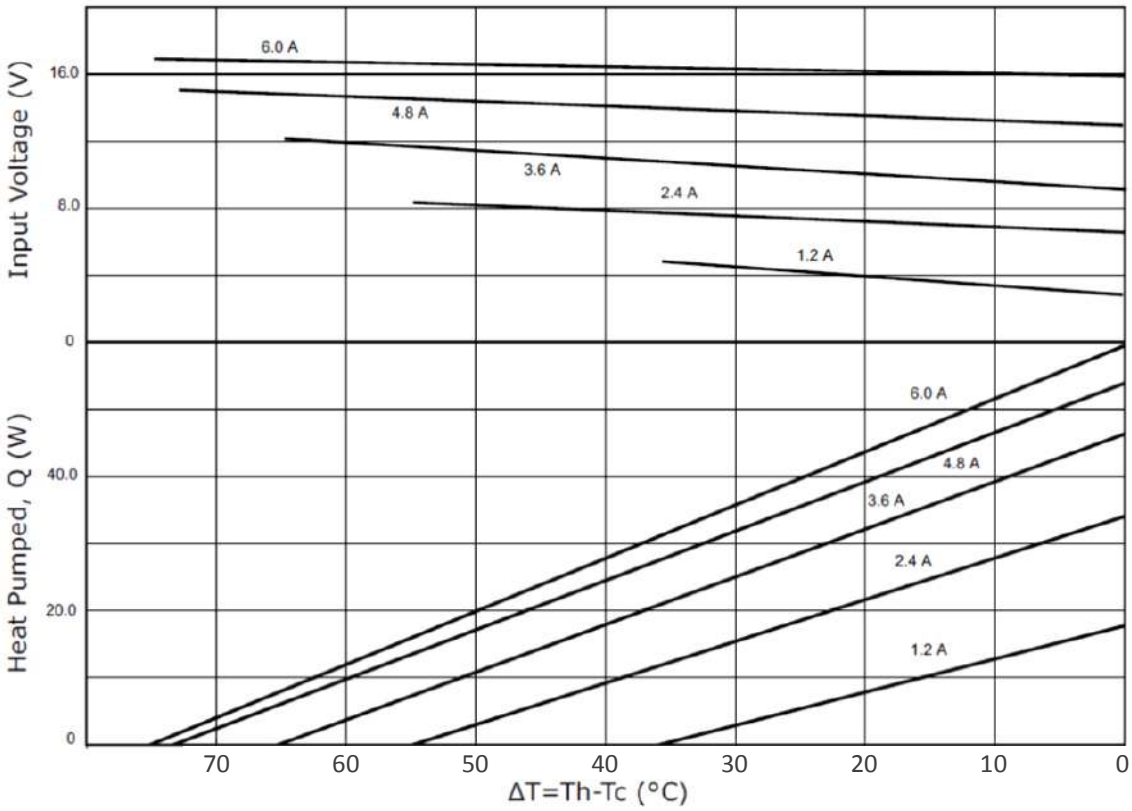


Figure A.3.1. Diagramme fonctionnel de performance pour le module CP60440 (à T_h = 50°C).
Source : www.cui.com

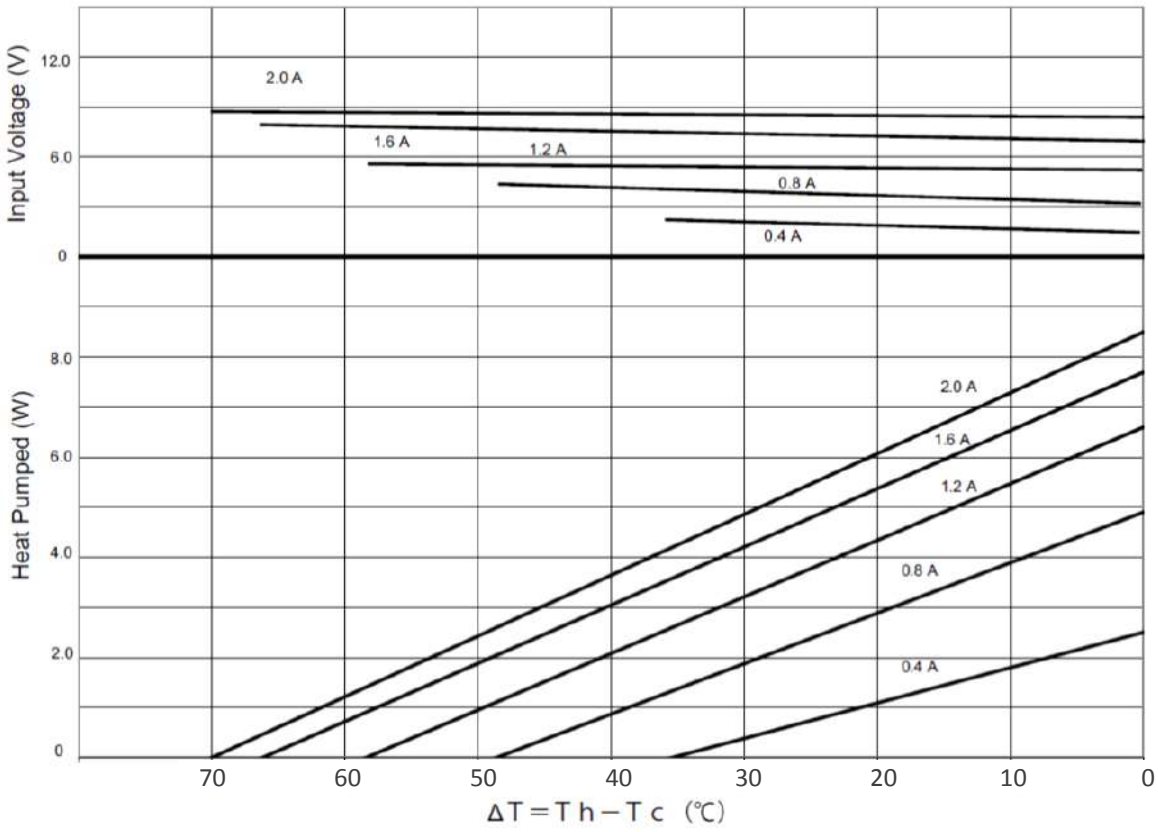


Figure A.3.2. Diagramme fonctionnel de performance pour le module CP20251. Prix : 17 $
Source : www.cui.com

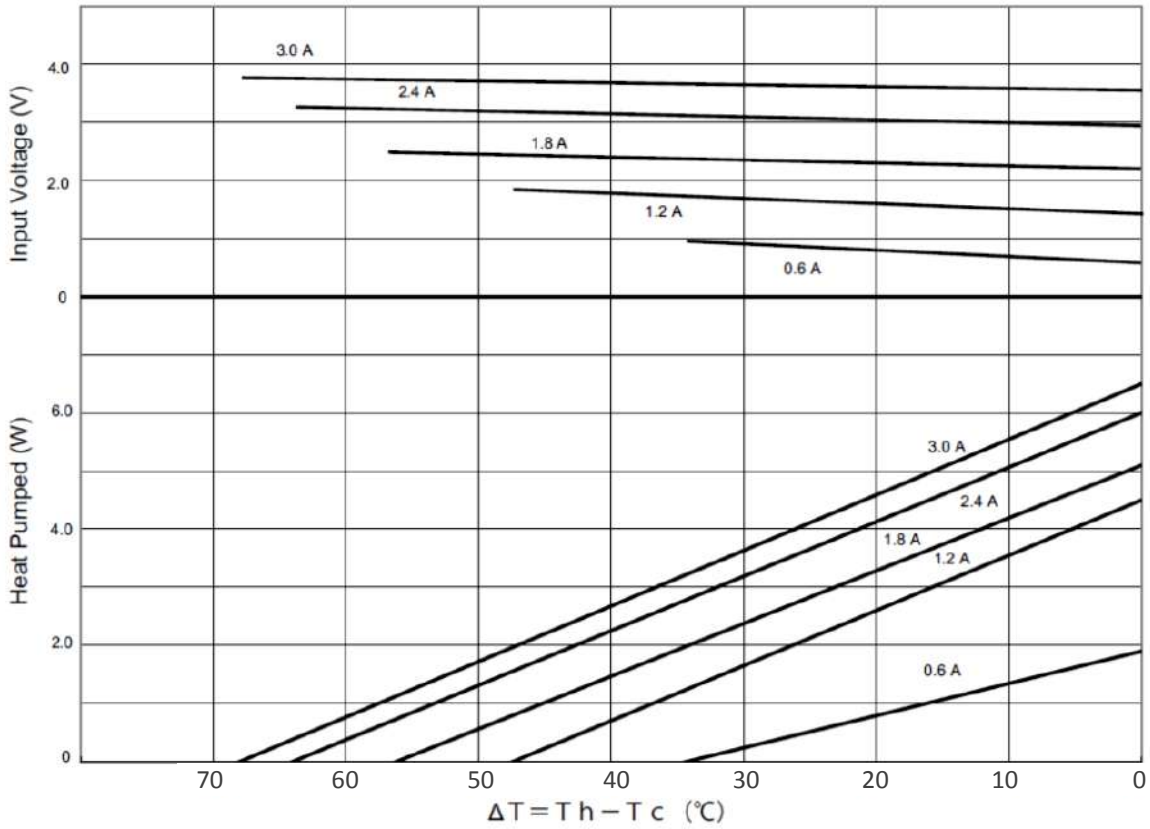


Figure A.3.3. Diagramme fonctionnel de performance pour le module CP30138. Prix : 16 $
Source : www.cui.com

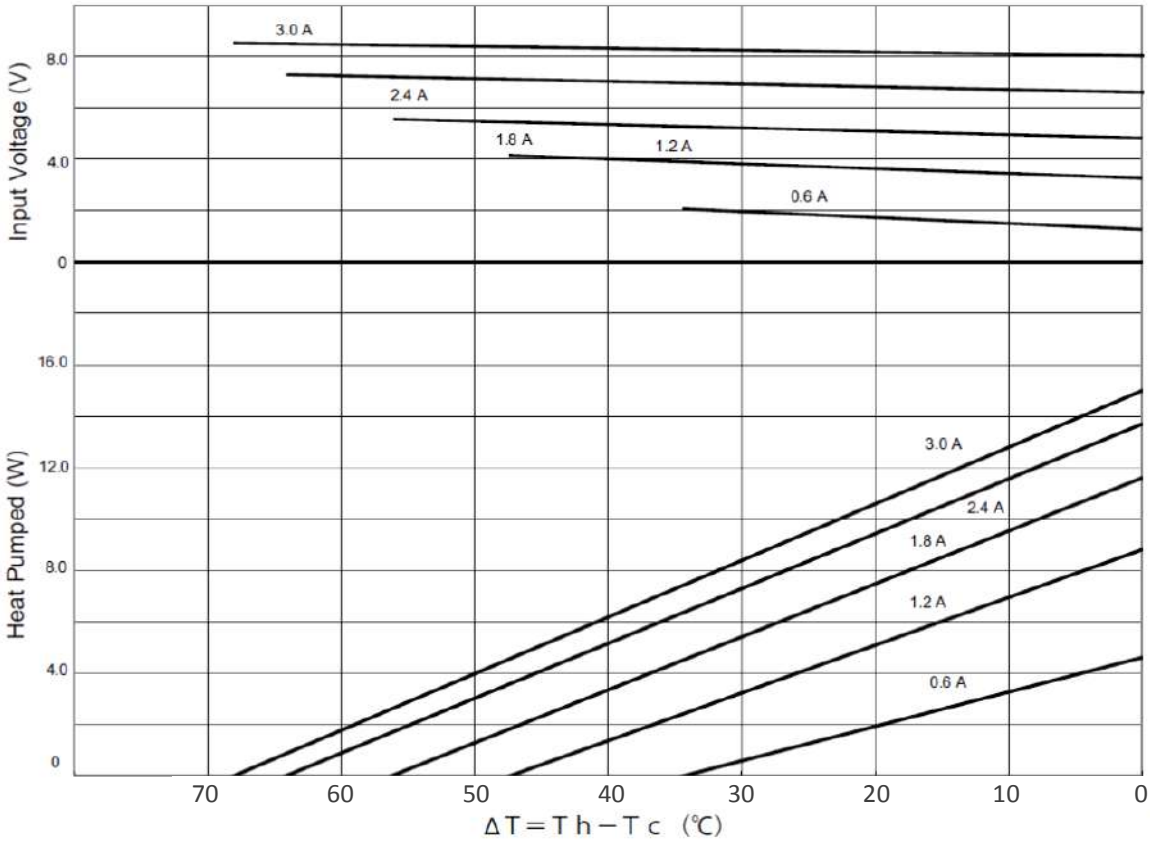


Figure A.3.4. Diagramme fonctionnel de performance pour le module CP30238. Prix : 17 $
Source : www.cui.com

4. CONVERSION D'ÉNERGIE (2) – ÉNERGIE MÉCANIQUE → ÉNERGIE ÉLECTRIQUE : ÉNERGIE ÉOLIENNE

Expressions utiles :

- ✓ Influence de la hauteur et de la rugosité du paysage sur la vitesse du vent : $\frac{v}{v_0} = \frac{\ln(H/z)}{\ln(H_0/z)}$, où v est la vitesse à la hauteur H, v_0 la vitesse à la hauteur H_0 et z la longueur de rugosité.
- ✓ *Tip-Speed Ratio* : $TSR = \text{Vitesse du rotor} \,/\, \text{Vitesse du vent}$.
- ✓ Densité de probabilité liée à une distribution de Weibull : $f(u) = \frac{k}{A}\left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^{k}\right)$.
- ✓ Fonction de survie (fonction cumulative d'une distribution de la vitesse du vent supérieure à une valeur u_0) : $Q(u > u_0) = \exp\left(-\left(\frac{u_0}{A}\right)^{k}\right)$.
- ✓ Fonction de répartition complémentaire de défaillance (fonction cumulative d'une distribution de la vitesse du vent inférieure ou égale à une valeur u_0) : $F(u \le u_0) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{u_0}{A}\right)^{k}\right)$.

Figure A.4.1. Expressions utiles pour les exercices du TD.

Classe de rugosité	Longueur de rugosité (m)	Coefficient énergétique (%)	Type de paysage
0	0,0002	100	Surface d'eau
0,5	0,0024	73	Terrain complètement dégagé avec une surface lisse, p.ex. une piste d'atterrissage en béton ou de l'herbe fraîchement coupée.
1	0,03	52	Terrain agricole dégagé, sans clôtures ou haies vives, et avec très peu de constructions. Seulement des collines aux pentes douces.
1,5	0,055	45	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de haut situées à environ 1250 m les unes des autres.
2	0,1	39	Terrain agricole avec quelques constructions et des haies vives de 8 m de haut situées à environ 500 m les unes des autres.
2,5	0,2	31	Terrain agricole avec beaucoup de constructions, arbrisseaux et plantes, ou des haies vives de 8 m de haut situées à environ 250 m les unes des autres.
3	0,4	24	Village, petite ville, terrain agricole avec de nombreuses de hautes haies vives, des forêts, terrain très accidenté.
3,5	0,8	18	Grande ville avec de hauts immeubles.
4	1,6	13	Très grande ville avec de hauts immeubles et des gratte-ciel.

Figure A.4.2. Tableau des classes et longueurs de rugosité.
Source : d'après *Atlas éolien européen,* 1991, Laboratoire National de Risø, Danemark.

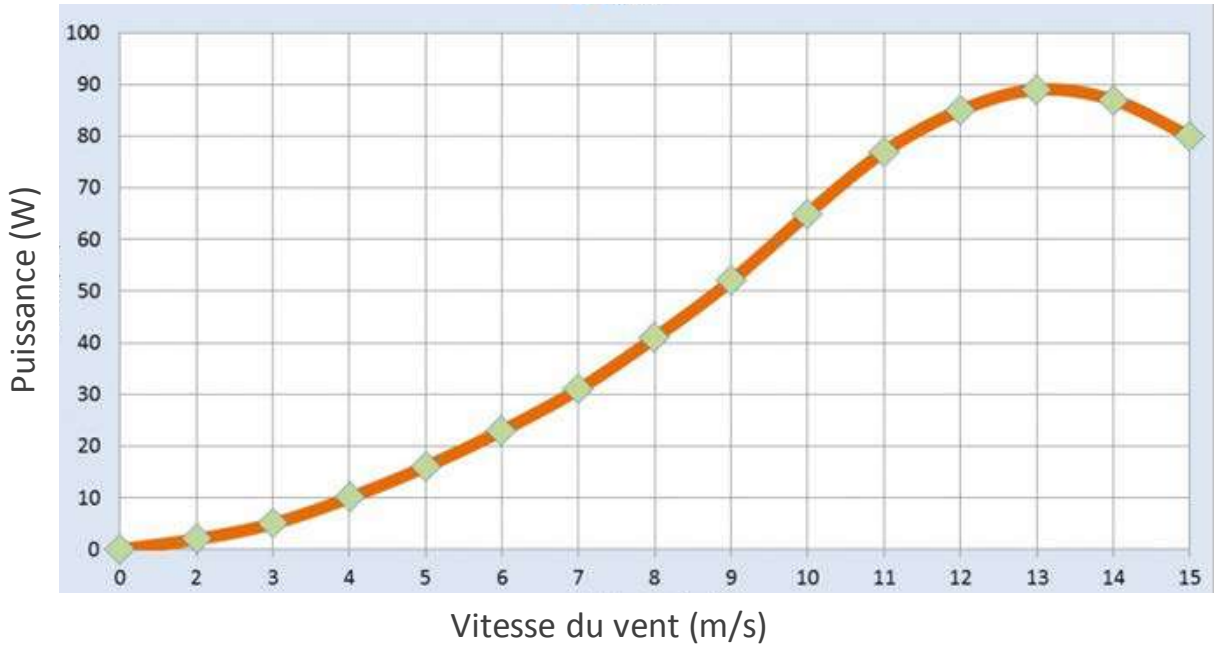


Figure A.4.3. Courbe de puissance de l'éolienne *ASE Energy* M80 en fonction de la vitesse du vent.
Source : www.ase-energy.com

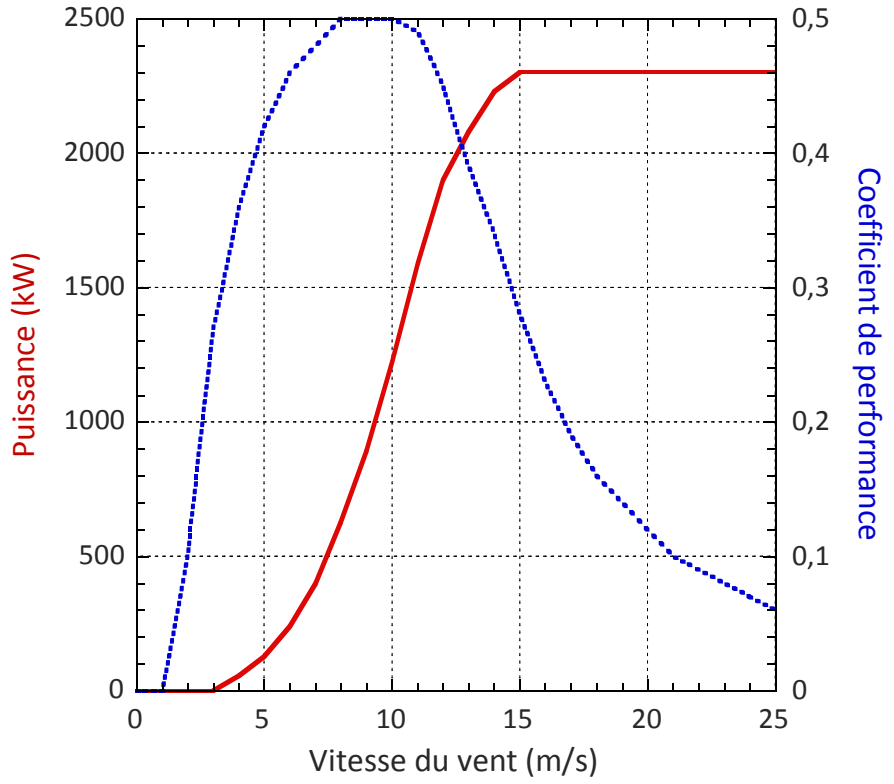


Figure A.4.4. Courbes de puissance (en trait continu rouge) et de coefficient de performance (en traits pointillés bleus) de l'éolienne *Enercon* E70 en fonction de la vitesse du vent.
Source : www.enercon.de/fr/home/

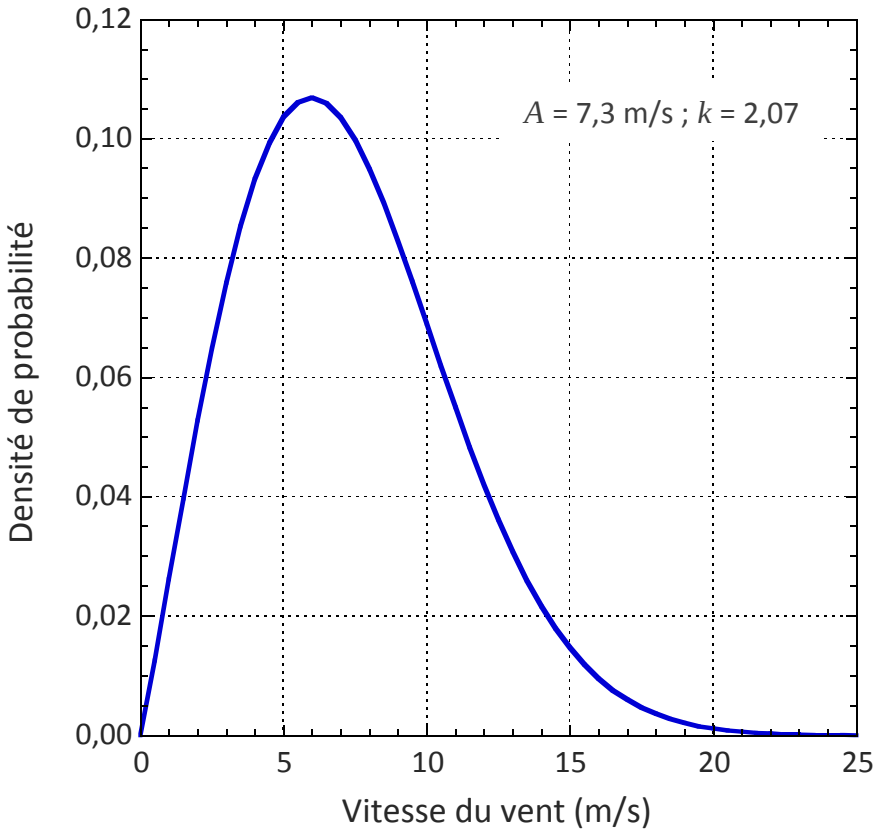


Figure A.4.5. Fonction de distribution de Weibull de la vitesse moyenne des vents à une hauteur de 55 m dans la région de Narbonne sur une année (courbe en trait continu). Le paramètre d'échelle A correspond à la valeur moyenne de la vitesse du vent et le paramètre de forme k détermine la forme de la courbe de Weibull.

5. UTILISATION DOMESTIQUE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

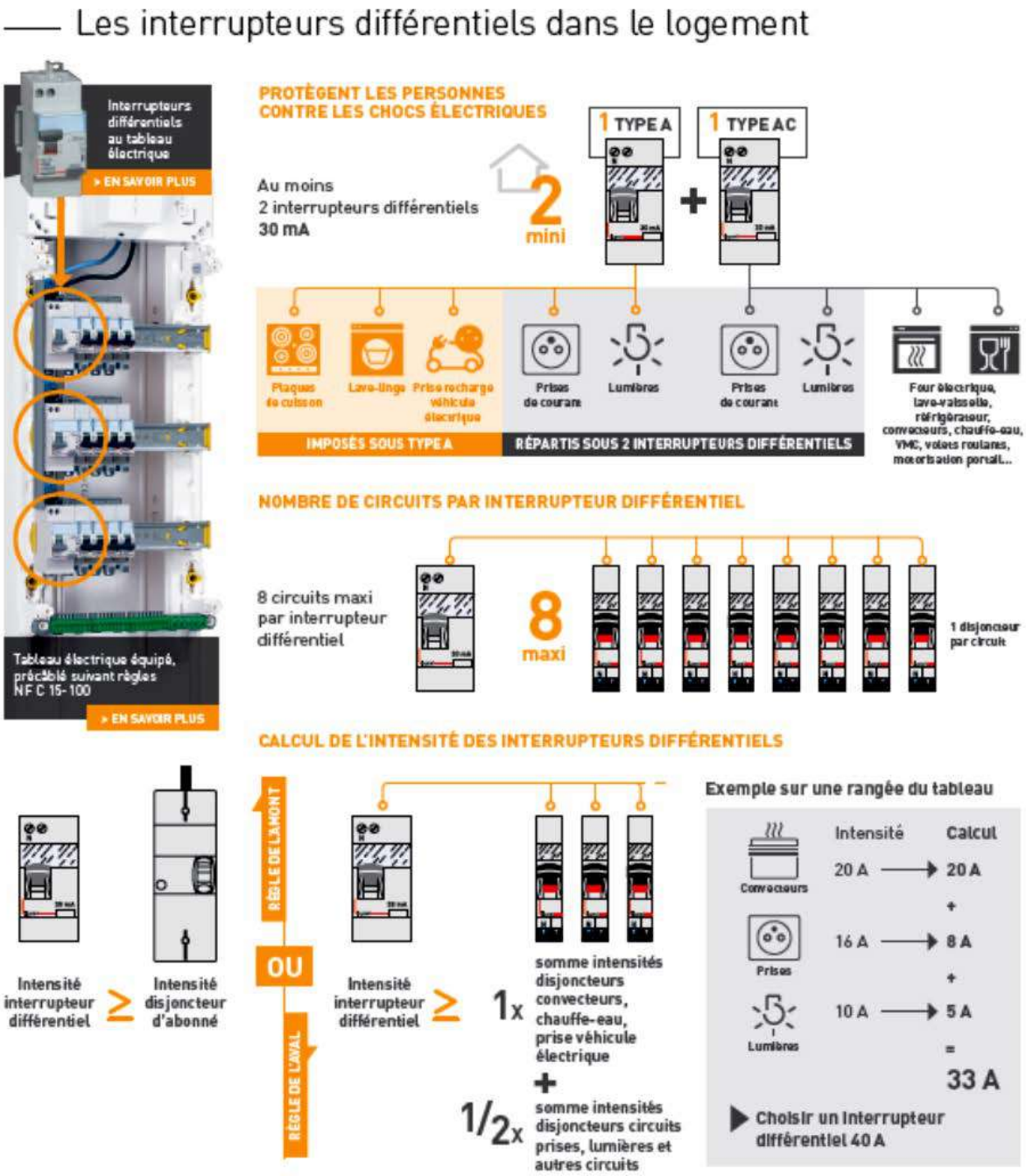


Figure A.5.1. Les points clés de la norme NF C 15–100.
Source : www.legrand.com

6. COMMENT CHOISIR UN CAPTEUR ?

1. Zero-power Resistance of Thermistor: R

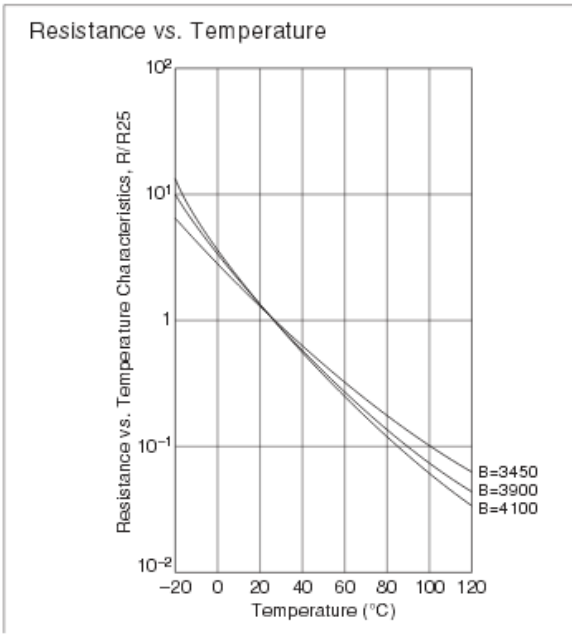
R=Ro expB (1/T-1/To) ·····(1)

R: Resistance in ambient temperature T (K)

(K: absolute temperature)

Ro: Resistance in ambient temperature To (K)

B: B-Constant of Thermistor



Part Number	Resistance (25°C) (ohm)	B-Constant (25-50°C) (K)	B-Constant (25-80°C) (Reference Value) (K)	B-Constant (25-85°C) (Reference Value) (K)	B-Constant (25-100°C) (Reference Value) (K)	Permissive Operating Current (25°C) (mA)
NCP03XM102□05RL	1.0k	3500 ±1%	3539	3545	3560	1.00
NCP03XM152□05RL	1.5k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.81
NCP03XM222□05RL	2.2k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.67
NCP03XM332□05RL	3.3k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.55
NCP03XM472□05RL	4.7k	3500 ±1%	3539	3545	3560	0.46
NCP03XH682□05RL	6.8k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.38
NCP03XH103F05RL	10k ±1%	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.31
NCP03XH103□05RL	10k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.31
NCP03XV103□05RL	10k	3900 ±1%	3930	3934	3944	0.31
NCP03XH153□05RL	15k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.25
NCP03XH223□05RL	22k	3380 ±1%	3428	3434	3455	0.21
NCP03WF333□05RL	33k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.17
NCP03WB473□05RL	47k	4050 ±3%	4101	4108	4131	0.14
NCP03WL473□05RL	47k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.14
NCP03WF683□05RL	68k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.12
NCP03WL683□05RL	68k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.12
NCP03WF104F05RL	100k ±1%	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.10
NCP03WF104□05RL	100k	4250 ±1%	4303	4311	4334	0.10
NCP03WL104□05RL	100k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.10
NCP03WL154□05RL	150k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.08
NCP03WL224□05RL	220k	4485 ±1%	4537	4543	4557	0.06

□ is filled with resistance tolerance codes (E: ±3%, J: ±5%).

Rated Electric Power shows the required electric power that causes Thermistor's temperature to rise to 125°C by self heating, at ambient temperature of 25 °C.

Operating Temperature Range: -40°C to +125°C

Figure A.6.1. Caractéristiques de la sonde CTN de type NCP03.

Source : www.murata.com

Pt100 ELEMENTS, THIN FILM (100 Ohm) THERMOMETER INSERTS

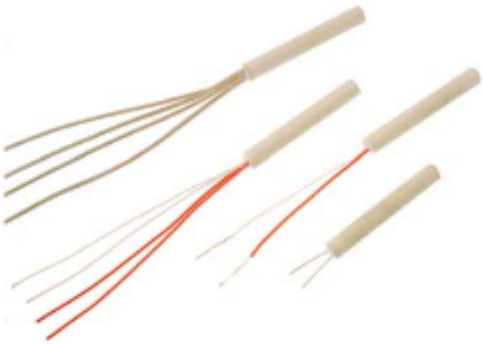
- Pt100 elements to IEC 751 Class A & B in ceramic sheaths
- Sheath 5.2mm diameter x 35mm long
- For use from –50°C to +250°C
- Thin film construction
- Extension leads 7/0.2mm singles, copper, PTFE insulated
- Insulated leads rated –50°C to +250°C
- 2 or 4 wire configurations
- Vibration resistant

Specifications of elements

Sensor type:	Pt100 (100 Ohms @ 0°C)
Construction:	Thin film sensor in ceramic sheath
Temperature range:	–50°C to +250°C
Ice point resistance:	100Ω
Fundamental interval (0°C to 100°C)	38.5Ω (nominal)
Self heating	<005°C/mW
Stability	±0.05%
Sheath dimensions & tolerance class	5.2mm O/D x 35mm, Class B

Dimensions & codes

	Farnell code	LAB code
50mm x 2 wire 7/0.2mm PTFE	725-5731	01-412-RT/D
450mm x 4 wire 7/0.2mm PTFE	725-5743	01-412-RT/B



Data Ref: FAR 60

Figure A.6.2. Caractéristiques de la sonde Pt100 utilisée.
Source : www.labfacility.com

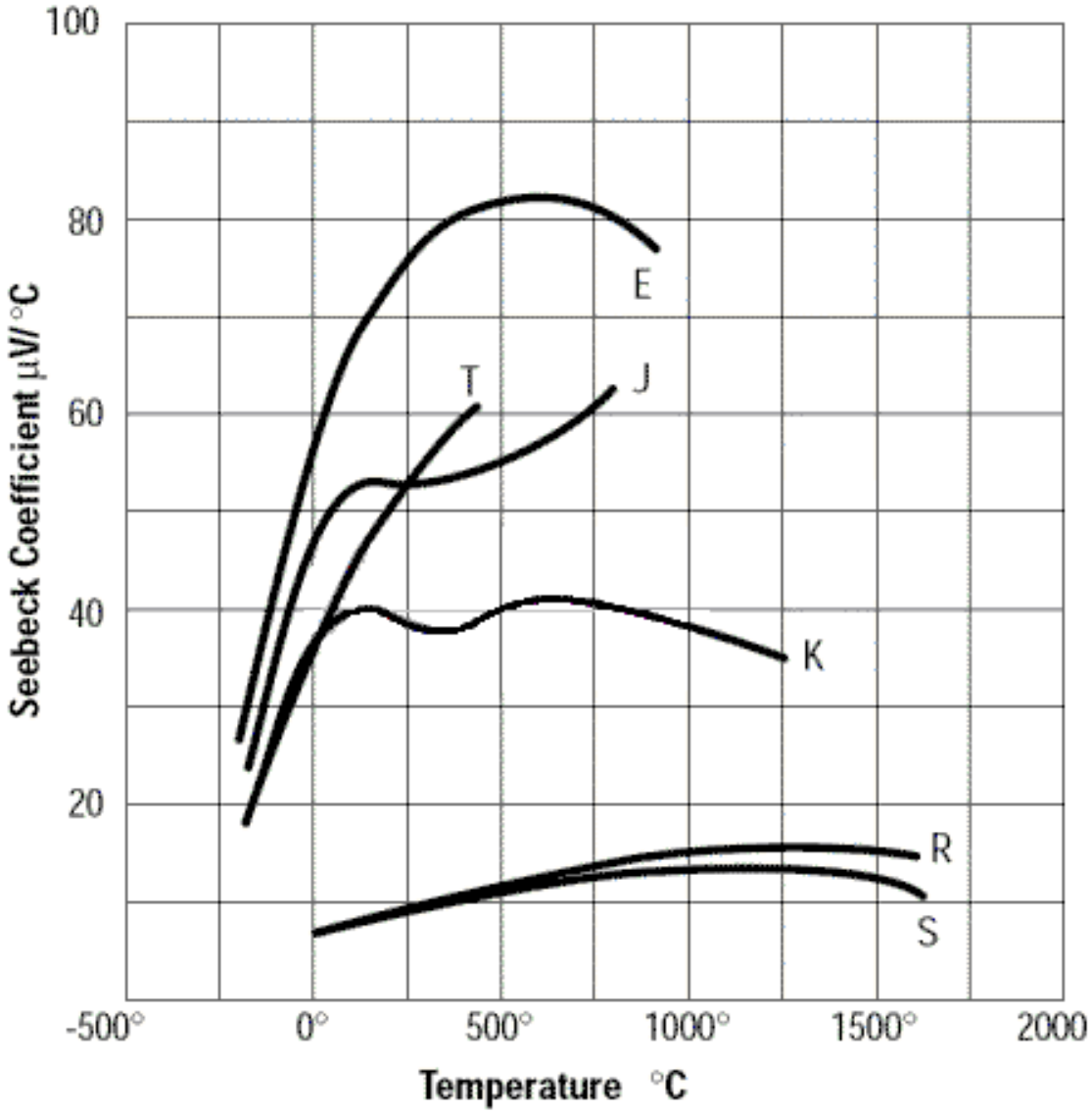


Figure A.6.3. Coefficient Seebeck de quelques thermocouples.

Figure A.6.4. Tableau des tensions d'un thermocouple de type K.

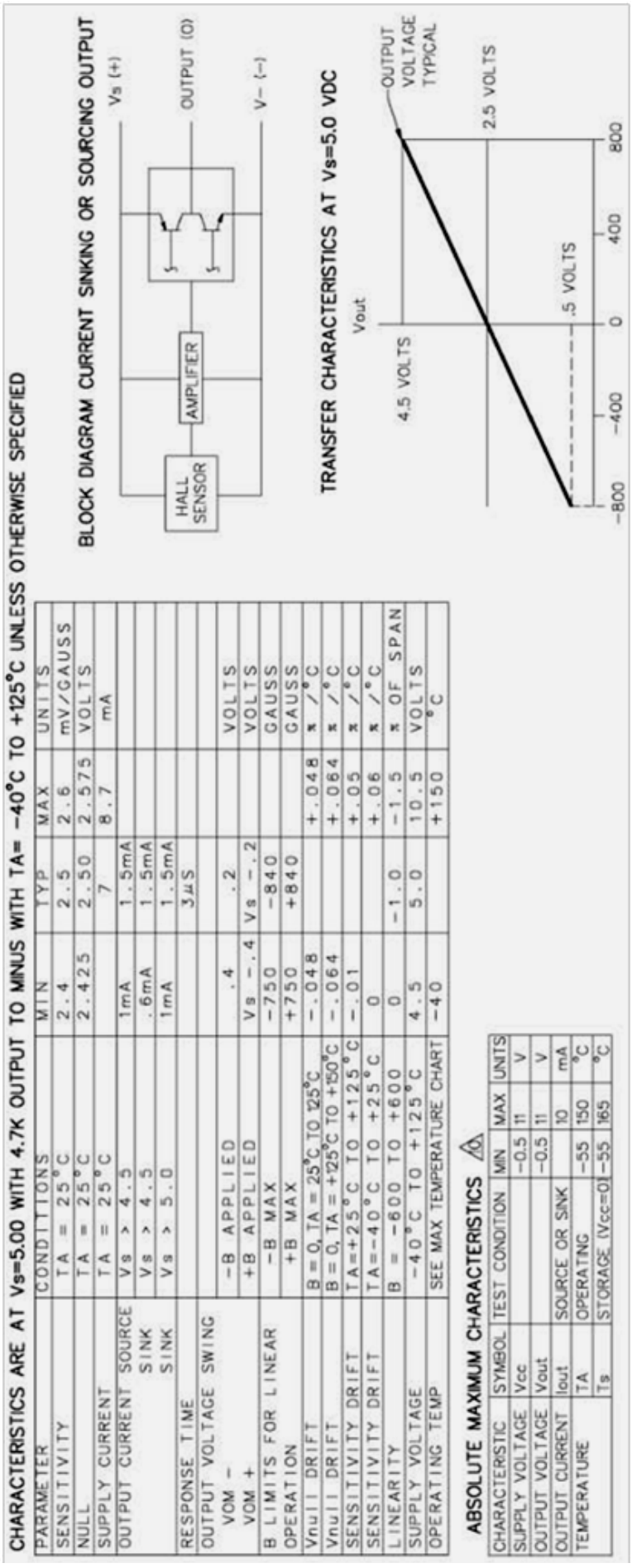
Table des tensions de Thermocouple Type K (Chromel/Alumel)												
Tension thermoélectrique en millivolts avec jonction de référence à 0°C												
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
-270	-6,458											-270
-260	-6,441	-6,444	-6,446	-6,448	-6,450	-6,452	-6,453	-6,455	-6,456	-6,457	-6,458	-260
-250	-6,404	-6,408	-6,413	-6,417	-6,421	-6,425	-6,429	-6,432	-6,435	-6,438	-6,441	-250
-240	-6,344	-6,351	-6,358	-6,364	-6,371	-6,377	-6,382	-6,388	-6,394	-6,399	-6,404	-240
-230	-6,262	-6,271	-6,280	-6,289	-6,297	-6,306	-6,314	-6,322	-6,329	-6,337	-6,344	-230
-220	-6,158	-6,170	-6,181	-6,192	-6,202	-6,213	-6,223	-6,233	-6,243	-6,253	-6,262	-220
-210	-6,035	-6,048	-6,061	-6,074	-6,087	-6,099	-6,111	-6,123	-6,135	-6,147	-6,158	-210
-200	-5,891	-5,907	-5,922	-5,936	-5,951	-5,965	-5,980	-5,994	-6,007	-6,021	-6,035	-200
-190	-5,730	-5,747	-5,763	-5,780	-5,796	-5,813	-5,829	-5,845	-5,860	-5,876	-5,891	-190
-180	-5,550	-5,569	-5,587	-5,606	-5,624	-5,642	-5,660	-5,678	-5,695	-5,712	-5,730	-180
-170	-5,354	-5,374	-5,394	-5,414	-5,434	-5,454	-5,474	-5,493	-5,512	-5,531	-5,550	-170
-160	-5,141	-5,163	-5,185	-5,207	-5,228	-5,249	-5,271	-5,292	-5,313	-5,333	-5,354	-160
-150	-4,912	-4,936	-4,959	-4,983	-5,006	-5,029	-5,051	-5,074	-5,097	-5,119	-5,141	-150
-140	-4,669	-4,694	-4,719	-4,743	-4,768	-4,792	-4,817	-4,841	-4,865	-4,889	-4,912	-140
-130	-4,410	-4,437	-4,463	-4,489	-4,515	-4,541	-4,567	-4,593	-4,618	-4,644	-4,669	-130
-120	-4,138	-4,166	-4,193	-4,221	-4,248	-4,276	-4,303	-4,330	-4,357	-4,384	-4,410	-120
-110	-3,852	-3,881	-3,910	-3,939	-3,968	-3,997	-4,025	-4,053	-4,082	-4,110	-4,138	-110
-100	-3,553	-3,584	-3,614	-3,644	-3,674	-3,704	-3,734	-3,764	-3,793	-3,823	-3,852	-100
-90	-3,242	-3,274	-3,305	-3,337	-3,368	-3,399	-3,430	-3,461	-3,492	-3,523	-3,553	-90
-80	-2,920	-2,953	-2,985	-3,018	-3,050	-3,082	-3,115	-3,147	-3,179	-3,211	-3,242	-80
-70	-2,586	-2,620	-2,654	-2,687	-2,721	-2,754	-2,788	-2,821	-2,854	-2,887	-2,920	-70
-60	-2,243	-2,277	-2,312	-2,347	-2,381	-2,416	-2,450	-2,484	-2,518	-2,552	-2,586	-60
-50	-1,889	-1,925	-1,961	-1,996	-2,032	-2,067	-2,102	-2,137	-2,173	-2,208	-2,243	-50
-40	-1,527	-1,563	-1,600	-1,636	-1,673	-1,709	-1,745	-1,781	-1,817	-1,853	-1,889	-40
-30	-1,156	-1,193	-1,231	-1,268	-1,305	-1,342	-1,379	-1,416	-1,453	-1,490	-1,527	-30
-20	-0,777	-0,816	-0,854	-0,892	-0,930	-0,968	-1,005	-1,043	-1,081	-1,118	-1,156	-20
-10	-0,392	-0,431	-0,469	-0,508	-0,547	-0,585	-0,624	-0,662	-0,701	-0,739	-0,777	-10
- 0	0,000	-0,039	-0,079	-0,118	-0,157	-0,197	-0,236	-0,275	-0,314	-0,353	-0,392	- 0
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,199	0,238	0,277	0,317	0,357	0,397	0
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758	0,798	10
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,162	1,203	20
30	1,203	1,244	1,285	1,325	1,366	1,407	1,448	1,489	1,529	1,570	1,611	30
40	1,611	1,652	1,693	1,734	1,776	1,817	1,858	1,899	1,940	1,981	2,022	40
50	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188	2,229	2,270	2,312	2,353	2,394	2,436	50
60	2,436	2,477	2,519	2,560	2,601	2,643	2,684	2,726	2,767	2,309	2,850	60
70	2,850	2,892	2,933	2,975	3,016	3,058	3,100	3,141	3,183	3,224	3,266	70
80	3,266	3,307	3,349	3,390	3,432	3,473	3,515	3,556	3,598	3,639	3,681	80
90	3,681	3,722	3,764	3,805	3,847	3,888	3,930	3,971	4,012	4,054	4,095	90
100	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261	4,302	4,343	4,384	4,426	4,467	4,508	100
110	4,508	4,549	4,590	4,632	4,673	4,714	4,755	4,796	4,837	4,878	4,919	110
120	4,919	4,960	5,001	5,042	5,083	5,124	5,164	5,205	5,246	5,287	5,327	120
130	5,327	5,368	5,409	5,450	5,490	5,531	5,571	5,612	5,652	5,693	5,733	130
140	5,733	5,774	5,814	5,855	5,895	5,936	5,976	6,016	6,057	6,097	6,137	140
150	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298	6,338	6,378	6,419	6,459	6,499	6,539	150
160	6,539	6,579	6,619	6,659	6,699	6,739	6,779	6,819	6,859	6,899	6,939	160
170	6,939	6,979	7,019	7,059	7,099	7,139	7,179	7,219	7,259	7,299	7,338	170
180	7,338	7,378	7,418	7,458	7,498	7,538	7,578	7,618	7,658	7,697	7,737	180
190	7,737	7,777	7,817	7,857	7,897	7,937	7,977	8,017	8,057	8,097	8,137	190
200	8,137	8,177	8,216	8,256	8,296	8,336	8,376	8,416	8,456	8,497	8,537	200
210	8,537	8,577	8,617	8,657	8,697	8,737	8,777	8,817	8,857	8,898	8,938	210
220	8,938	8,978	9,018	9,058	9,099	9,139	9,179	9,220	9,260	9,300	9,341	220
230	9,341	9,381	9,421	9,462	9,502	9,543	9,583	9,624	9,664	9,705	9,745	230
240	9,745	9,786	9,826	9,867	9,907	9,948	9,989	10,029	10,070	10,111	10,151	240
250	10,151	10,192	10,233	10,274	10,315	10,355	10,396	10,437	10,478	10,519	10,560	250
260	10,560	10,600	10,641	10,682	10,723	10,764	10,805	10,846	10,887	10,928	10,969	260
270	10,969	11,010	11,051	11,093	11,134	11,175	11,216	11,257	11,298	11,339	11,381	270
280	11,381	11,422	11,463	11,504	11,546	11,587	11,628	11,669	11,711	11,752	11,793	280

Table des tensions de Thermocouple Type K (Chromel/Alumel)												
Tension thermoélectrique en millivolts avec jonction de référence à 0°C												
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
290	11,793	11,835	11,876	11,918	11,959	12,000	12,042	12,083	12,125	12,166	12,207	290
300	12,207	12,249	12,290	12,332	12,373	12,415	12,456	12,498	12,539	12,581	12,623	300
310	12,623	12,664	12,706	12,747	12,789	12,831	12,872	12,914	12,955	12,997	13,039	310
320	13,039	13,080	13,122	13,164	13,205	13,247	13,289	13,331	13,372	13,414	13,456	320
330	13,456	13,497	13,539	13,581	13,623	13,665	13,706	13,748	13,790	13,832	13,874	330
340	13,874	13,915	13,957	13,999	14,041	14,083	14,125	14,167	14,208	14,250	14,292	340
350	14,292	14,334	14,376	14,418	14,460	14,502	14,544	14,586	14,628	14,670	14,712	350
360	14,712	14,754	14,796	14,838	14,880	14,922	14,964	15,006	15,048	15,090	15,132	360
370	15,132	15,174	15,216	15,258	15,300	15,342	15,384	15,426	15,468	15,510	15,552	370
380	15,552	15,594	15,636	15,679	15,721	15,763	15,805	15,847	15,889	15,931	15,974	380
390	15,974	16,016	16,058	16,100	16,142	16,184	16,227	16,269	16,311	16,353	16,395	390
400	16,395	16,438	16,480	16,522	16,564	16,607	16,649	16,691	16,733	16,776	16,818	400
410	16,818	16,860	16,902	16,945	16,987	17,029	17,072	17,114	17,156	17,199	17,241	410
420	17,241	17,283	17,326	17,368	17,410	17,453	17,495	17,537	17,580	17,622	17,664	420
430	17,664	17,707	17,749	17,792	17,834	17,876	17,919	17,961	18,004	18,046	18,088	430
440	18,088	18,131	18,173	18,216	18,258	18,301	18,343	18,385	18,428	18,470	18,513	440
450	18,513	18,555	18,598	18,640	18,683	18,725	18,768	18,810	18,853	18,895	18,938	450
460	18,938	18,980	19,023	19,065	19,108	19,150	19,193	19,235	19,278	19,320	19,363	460
470	19,363	19,405	19,448	19,490	19,533	19,576	19,618	19,661	19,703	19,746	19,788	470
480	19,788	19,831	19,873	19,916	19,959	20,001	20,044	20,086	20,129	20,172	20,214	480
490	20,214	20,257	20,299	20,342	20,385	20,427	20,470	20,512	20,555	20,598	20,640	490
500	20,640	20,683	20,725	20,768	20,811	20,853	20,896	20,938	20,981	21,024	21,066	500
510	21,066	21,109	21,152	21,194	21,237	21,280	21,322	21,365	21,407	21,450	21,493	510
520	21,493	21,535	21,578	21,621	21,663	21,706	21,749	21,791	21,834	21,876	21,919	520
530	21,919	21,962	22,004	22,047	22,090	22,132	22,175	22,218	22,260	22,303	22,346	530
540	22,346	22,388	22,431	22,473	22,516	22,559	22,601	22,644	22,687	22,729	22,772	540
550	22,772	22,815	22,857	22,900	22,942	22,985	23,028	23,070	23,113	23,156	23,198	550
560	23,198	23,241	23,284	23,326	23,369	23,411	23,454	23,497	23,539	23,582	23,624	560
570	23,624	23,667	23,710	23,752	23,795	23,837	23,880	23,923	23,965	24,008	24,050	570
580	24,050	24,093	24,136	24,178	24,221	24,263	24,306	24,348	24,391	24,434	24,476	580
590	24,476	24,519	24,561	24,604	24,646	24,689	24,731	24,774	24,817	24,859	24,902	590
600	24,902	24,944	24,987	25,029	25,072	25,114	25,157	25,199	25,242	25,284	25,327	600
610	25,327	25,369	25,412	25,454	25,497	25,539	25,582	25,624	25,666	25,709	25,751	610
620	25,751	25,794	25,836	25,879	25,921	25,964	26,006	26,048	26,091	26,133	26,176	620
630	26,176	26,218	26,260	26,303	26,345	26,387	26,430	26,472	26,515	26,557	26,599	630
640	26,599	26,642	26,684	26,726	26,769	26,811	26,853	26,896	26,938	26,980	27,022	640
650	27,022	27,065	27,107	27,149	27,192	27,234	27,276	27,318	27,361	27,403	27,445	650
660	27,445	27,487	27,529	27,572	27,614	27,656	27,698	27,740	27,783	27,825	27,867	660
670	27,867	27,909	27,951	27,993	28,035	28,078	28,120	28,162	28,204	28,246	28,288	670
680	28,288	28,330	28,372	28,414	28,456	28,498	28,540	28,583	28,625	28,667	28,709	680
690	28,709	28,751	28,793	28,835	28,877	28,919	28,961	29,002	29,044	29,086	29,128	690
700	29,128	29,170	29,212	29,254	29,296	29,338	29,380	29,422	29,464	29,505	29,547	700
710	29,547	29,589	29,631	29,673	29,715	29,756	29,798	29,840	29,882	29,924	29,965	710
720	29,965	30,007	30,049	30,091	30,132	30,174	30,216	30,257	30,299	30,341	30,383	720
730	30,383	30,424	30,466	30,508	30,549	30,591	30,632	30,674	30,716	30,757	30,799	730
740	30,799	30,840	30,882	30,924	30,965	31,007	31,048	31,090	31,131	31,173	31,214	740
750	31,214	31,256	31,297	31,339	31,380	31,422	31,463	31,504	31,546	31,587	31,629	750
760	31,629	31,670	31,712	31,753	31,794	31,836	31,877	31,918	31,960	32,001	32,042	760
770	32,042	32,084	32,125	32,166	32,207	32,249	32,290	32,331	32,372	32,414	32,455	770
780	32,455	32,496	32,537	32,578	32,619	32,661	32,702	32,743	32,784	32,825	32,866	780
790	32,866	32,907	32,948	32,990	33,031	33,072	33,113	33,154	33,195	33,236	33,277	790
800	33,277	33,318	33,359	33,400	33,441	33,482	33,523	33,564	33,604	33,645	33,686	800
810	33,686	33,727	33,768	33,809	33,850	33,891	33,931	33,972	34,013	34,054	34,095	810
820	34,095	34,136	34,176	34,217	34,258	34,299	34,339	34,380	34,421	34,461	34,502	820
830	34,502	34,543	34,583	34,624	34,665	34,705	34,746	34,787	34,827	34,868	34,909	830
840	34,909	34,949	34,990	35,030	35,071	35,111	35,152	35,192	35,233	35,273	35,314	840

HMC1001/1002 SPECIFICATIONS

Characteristics	Conditions*	Min	Typ	Max	Units
Bridge Elements					
Supply	Vbridge (Vb) referenced to GND	-	5.0	12	Volts
Resistance	Bridge current = 10mA per bridge	600	850	1200	ohms
Operating Temperature	Ambient	-55		150	°C
Storage Temperature	Ambient, unbiased	-55		175	°C
Field Range	Full scale (FS) – total applied field	-2		+2	gauss
Linearity Error	Best fit straight line ± 1 gauss ± 2 gauss		0.1 1.0	0.5 2.0	%FS
Hysteresis Error	3 sweeps across ±2 gauss		0.05	0.10	%FS
Repeatability Error	3 sweeps across ±2 gauss		0.05	0.10	%FS
S/R Repeatability	Output variation after alternate S/R pulses Vb = 5V, I_{SR} = 3A			100	µV
Bridge Offset	Offset = (OUT+) – (OUT-) Field = 0 gauss after Set pulse, Vb = 8V	-60	-15	+30	mV
Sensitivity	Set/Reset Current = 3A	2.5	3.2	4.0	mV/V/gauss
Noise Density	@ 1Hz, Vb=5V		29		nV/sqrt Hz
Resolution	10Hz Bandwidth, Vb=5V		27		µgauss
Bandwidth	Magnetic signal (lower limit = DC)		5		MHz
Disturbing Field	Sensitivity starts to degrade. Use S/R pulse to restore sensitivity.	5			gauss
Sensitivity Tempco	T_A= -40 to 125°C, Vb=8V T_A= -40 to 125°C, Ibridge=5mA	-0.32	-0.30 -0.06	-0.28	%/°C
Bridge Offset Tempco	T_A= -40 to 125°C, No Set/Reset T_A= -40 to 125°C, With Set/Reset		±0.03 ±0.001		%/°C
Bridge Ohmic Tempco	T_A= -40 to 125°C		0.25		%/°C
Cross-Axis Effect	Cross field = 1 gauss, Happlied = ±1 gauss With set/reset		±3 ±0.5		%FS
Max. Exposed Field	No perming effect on zero reading			10000	gauss

Figure A.6.5. Caractéristiques du capteur magnétorésistif utilisé
Source : d'après Honeywell Microelectronics & Precision Sensors



CHARACTERISTICS ARE AT Vs=5.00 WITH 4.7K OUTPUT TO MINUS WITH TA= −40°C TO +125°C UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SENSITIVITY	TA = 25°C	2.4	2.5	2.6	mV/GAUSS
NULL	TA = 25°C	2.425	2.50	2.575	VOLTS
SUPPLY CURRENT	TA = 25°C		7	8.7	mA
OUTPUT CURRENT SOURCE	Vs > 4.5	1mA	1.5mA		
SINK	Vs > 4.5	.6mA	1.5mA		
SINK	Vs > 5.0	1mA	1.5mA		
RESPONSE TIME			3µS		
OUTPUT VOLTAGE SWING					
VOM −	−B APPLIED	.4	.2		VOLTS
VOM +	+B APPLIED	Vs − .4	Vs − .2		VOLTS
B LIMITS FOR LINEAR	−B MAX	−750	−840		GAUSS
OPERATION	+B MAX	+750	+840		GAUSS
Vnull DRIFT	B = 0, TA = 25°C TO 125°C	−.048		+.048	% /°C
Vnull DRIFT	B = 0, TA = +125°C TO +150°C	−.064		+.064	% /°C
SENSITIVITY DRIFT	TA=+25°C TO +125°C	−.01		+.05	% /°C
SENSITIVITY DRIFT	TA=−40°C TO +25°C	0		+.06	% /°C
LINEARITY	B = −600 TO +600	0	−1.0	−1.5	% OF SPAN
SUPPLY VOLTAGE	−40°C TO +125°C	4.5	5.0	10.5	VOLTS
OPERATING TEMP	SEE MAX TEMPERATURE CHART	−40		+150	°C

ABSOLUTE MAXIMUM CHARACTERISTICS ⚠

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	MAX	UNITS
SUPPLY VOLTAGE	Vcc		−0.5	11	V
OUTPUT VOLTAGE	Vout		−0.5	11	V
OUTPUT CURRENT	Iout	SOURCE OR SINK		10	mA
TEMPERATURE	TA	OPERATNG	−55	150	°C
	Ts	STORAGE (Vcc=0)	−55	165	°C

BLOCK DIAGRAM CURRENT SINKING OR SOURCING OUTPUT

TRANSFER CHARACTERISTICS AT Vs=5.0 VDC

Figure A.6.6. Caractéristiques du capteur à effet Hall utilisé

7. COOL & QUIET

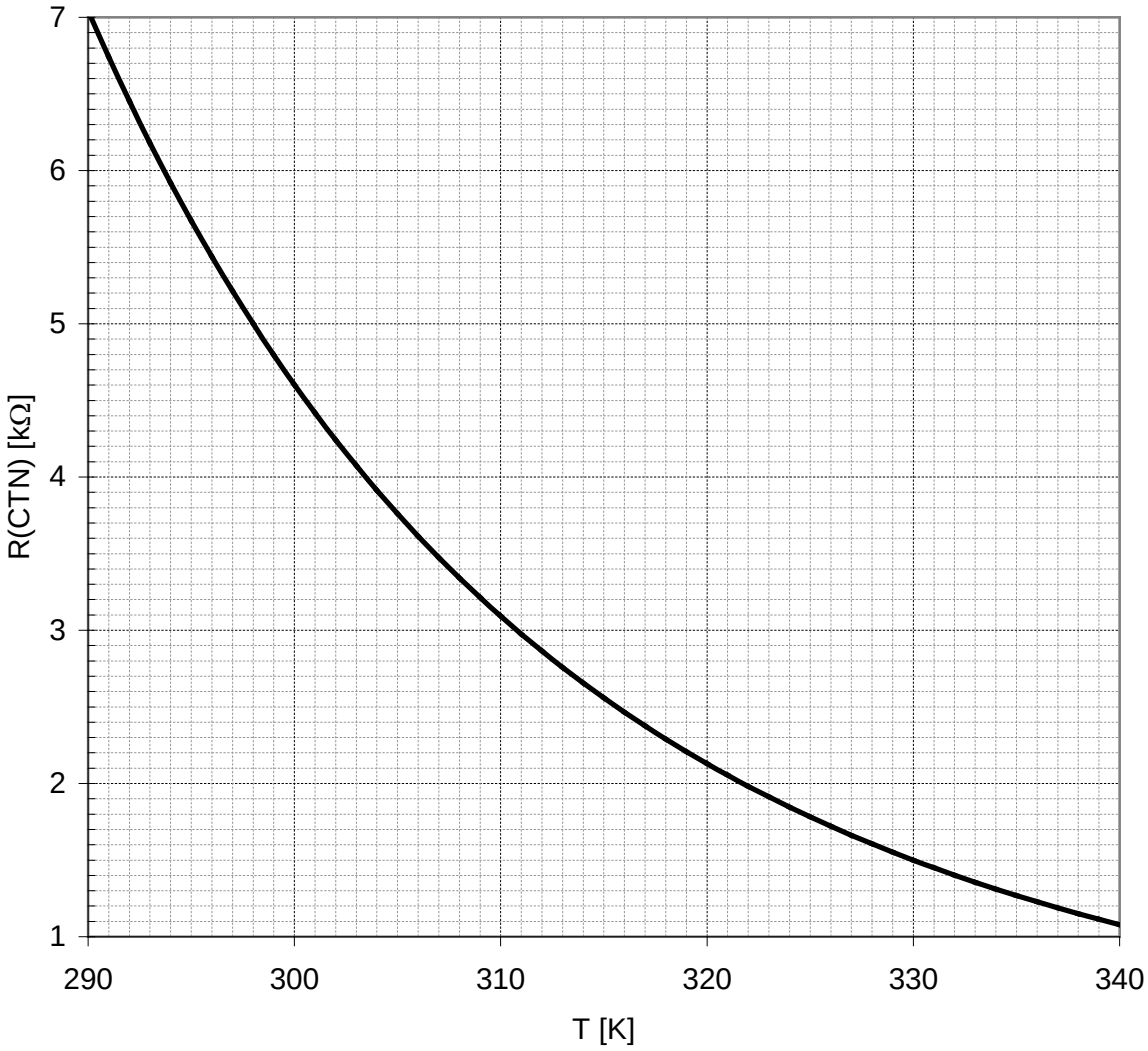


Figure A.7.1. Résistance de la sonde CTN utilisée en fonction de sa température.

8. UN OPACIMÈTRE POUR BEER & LAMBERT – APPLICATION : DÉTECTION DE GAZ

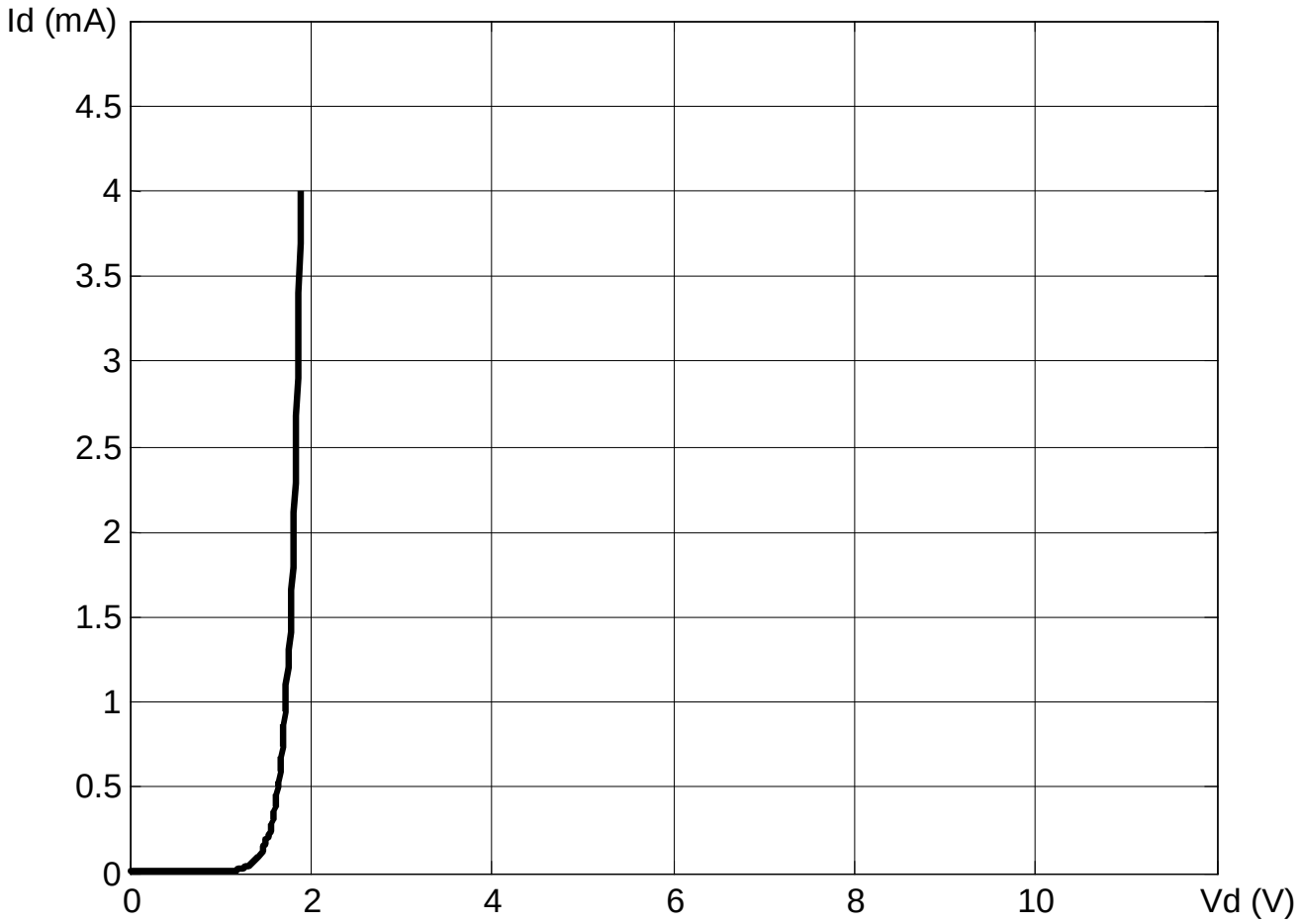
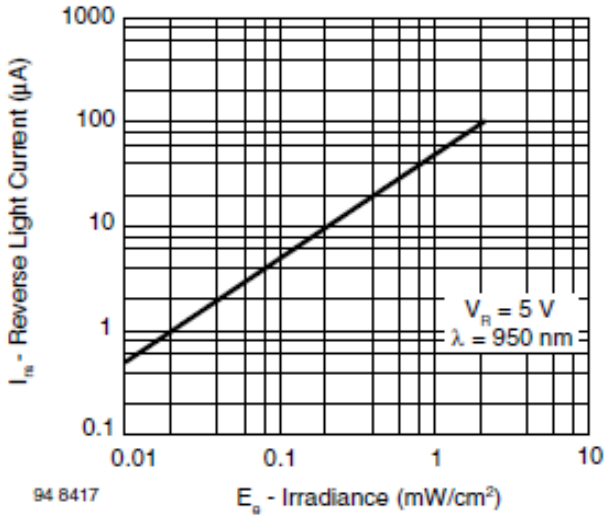
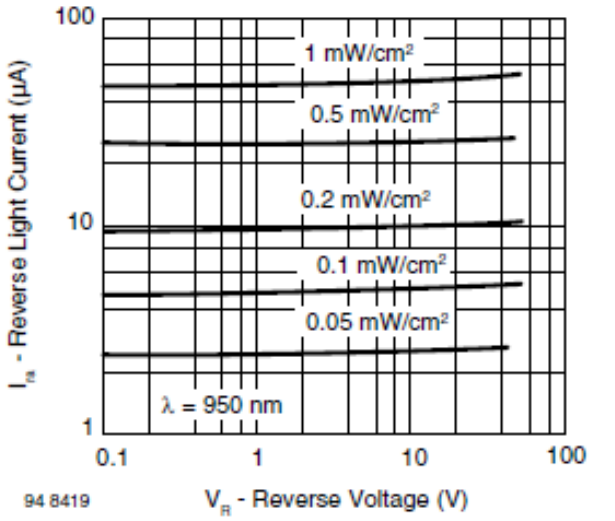


Figure A.8.1. Caractéristique de la LED utilisée

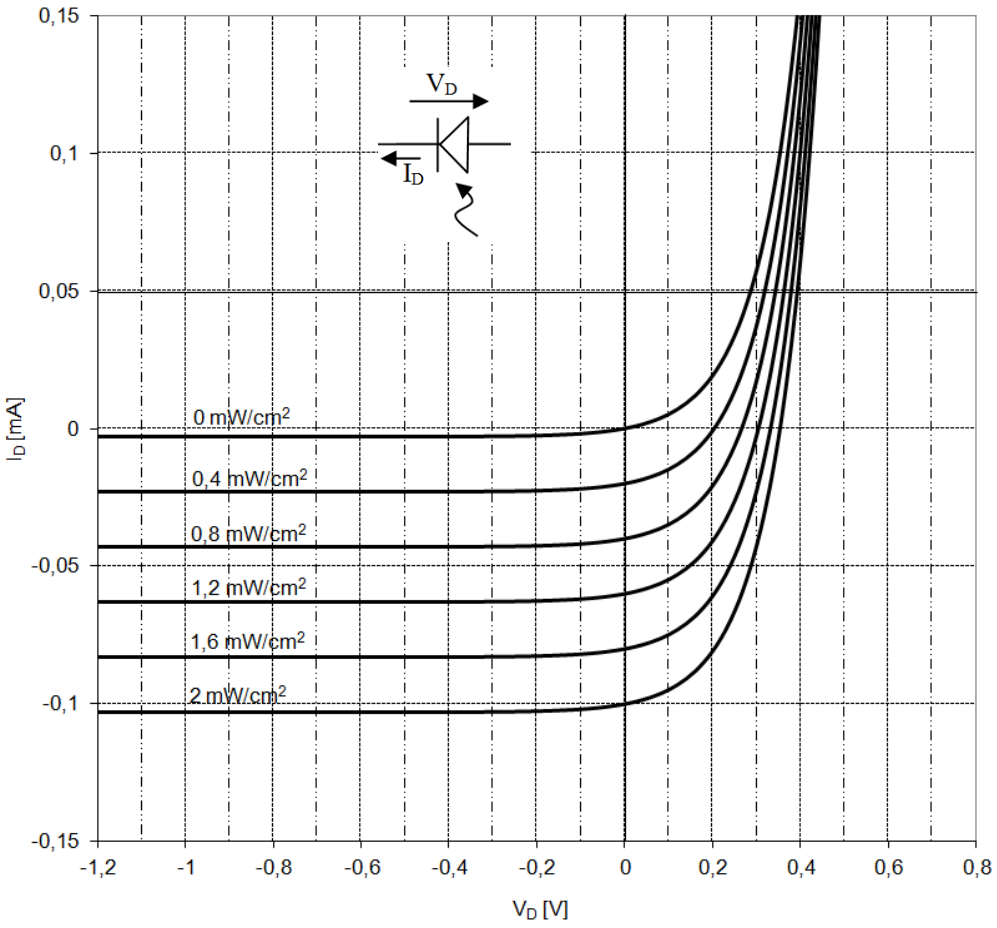


Reverse Light Current vs. Irradiance



Reverse Light Current vs. Reverse Voltage

a)



b)

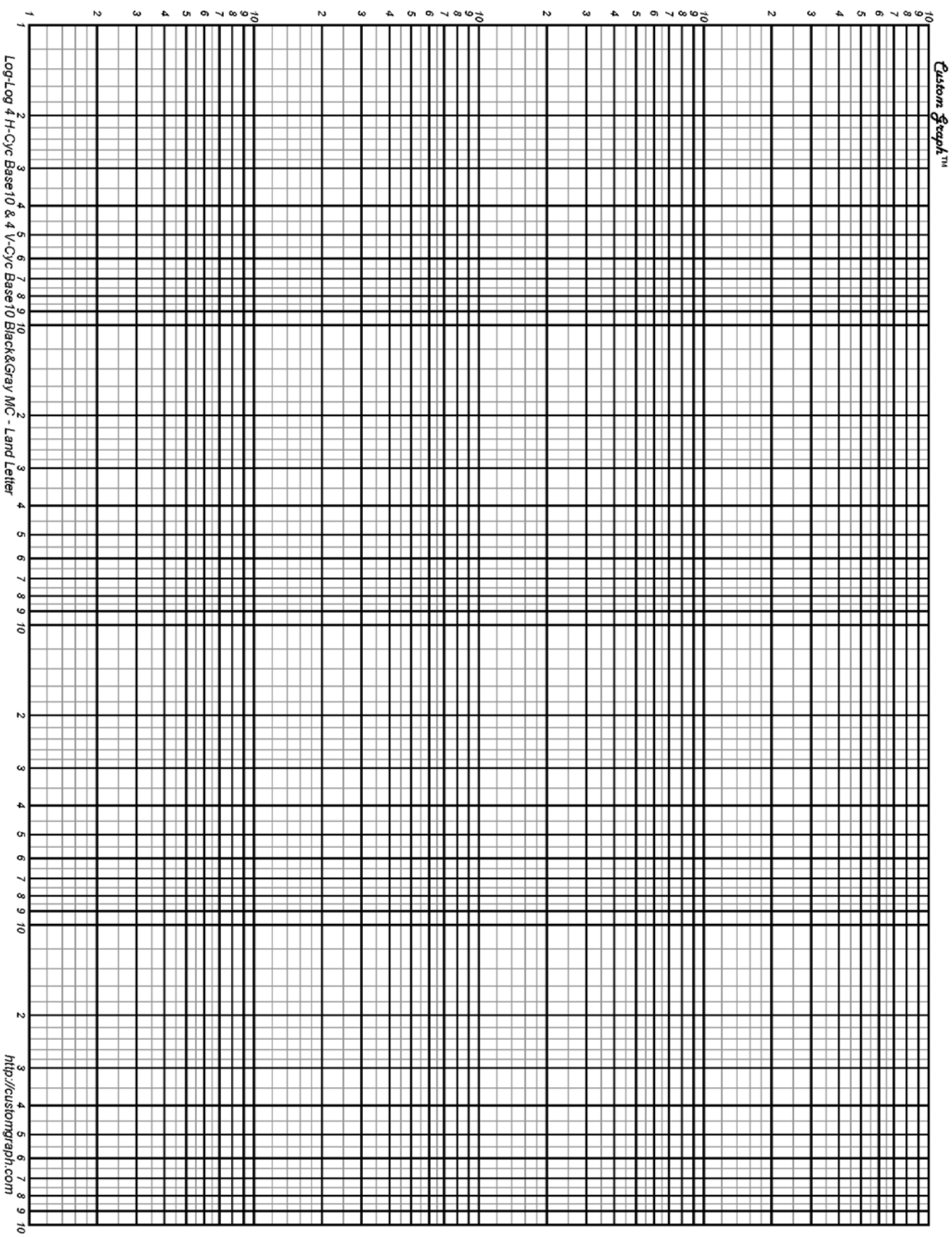
Figure A.8.2. Caractéristiques de la photodiode BPW34 (fabricant : Vishay)

a) Extrait de la notice technique (*datasheet*) de Vishay

b) Extrapolation libre de la notice technique.

NB : Les caractéristiques de la notice technique sont données à la longueur optimale 950 nm (infrarouge proche). Or la LED émet dans le rouge (environ 630 nm), les performances sont donc un peu moins bonnes tout en restant dans les mêmes ordres de grandeurs.

Figure A.8.3. Papier « log-log ».



9. CIRCUITS DE CONDITIONNEMENT POUR CAPTEURS DE DÉFORMATION

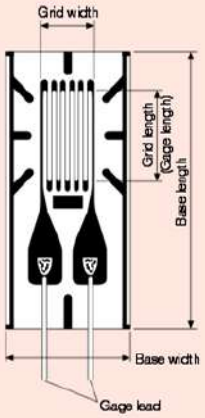
Gages for General Stress Measurement

KFG

- Gage Factor — Approx. 2.1
- Applicable Linear Expansion Coefficients — 5, 11, 16, 23, 27
- Self-temperature-compensation Range — 10 to 100°C

Applicable Adhesives and Operating Temperature Ranges

CC-33A: −196 to 120°C
CC-35: −30 to 120°C
EP-34B: −55 to 150°C
PC-6: −196 to 150°C

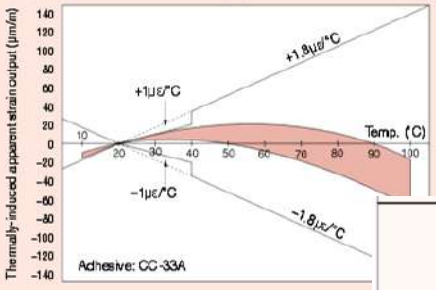


■General-purpose Foil Strain Gages

The KFG gages use polyimide resin for the base approximately 13μm thick, ensuring excellent flexibility. Besides indoor measurement, the outstanding moisture resistance lets them effectively perform outdoor measurement. Unless directly exposed to waterdrops, no coating treatment is required.

- Various lengths and patterns are available to cope with multiple applications.
- Excellent moisture resistance.
- The thin gage base provides less resiliency, and thus ensures excellent workability and easy bonding to curved surfaces.
- Compensated temperature range is as wide as 10 to 100°C and thermal effect in a range of 20 to 40°C is as small as ±1με/°C.
- Strain limit at room temperatures is approximately 5% and fatigue life is 1.2 x10⁷ times (uniaxial gages), making them suitable for material tests.
- The resistance, gage factor and leadwire cable are labeled.

■Typical characteristic curve of thermally-induced apparent strain with KFG gage



KFG-20-120-C1-11
16
23
27

Vinyl-coated flat 3-wire cable L-7 (L-10 for 6m or longer)	−10 to 80°C	1m	KFG-20-120-C1-11 L1M3R
		3m	KFG-20-120-C1-11 L3M3R
		5m	KFG-20-120-C1-11 L5M3R
Vinyl-coated flat 2-wire cable L-6 (L-9 for 6m or longer)	−10 to 80°C	1m	KFG-20-120-C1-11 L1M2R
		3m	KFG-20-120-C1-11 L3M2R
		5m	KFG-20-120-C1-11 L5M2R
Middle-temperature 3-wire cable L-12	−100 to 150°C	1m	KFG-20-120-C1-11 R1M3
		3m	KFG-20-120-C1-11 R3M3
		5m	KFG-20-120-C1-11 R5M3
Middle-temperature 2-wire cable L-11	−100 to 150°C	1m	KFG-20-120-C1-11 R1M2
		3m	KFG-20-120-C1-11 R3M2
		5m	KFG-20-120-C1-11 R5M2
3 polyester-coated copper wires 30cm / 50cm+1m	−196 to 150°C	30cm	KFG-20-120-C1-11 N30C3
		50cm	KFG-20-120-C1-11 N50C3
		1m	KFG-20-120-C1-11 N1M3
2 polyester-coated copper wires 30cm / 50cm+1m	−196 to 150°C	30cm	KFG-20-120-C1-11 N30C2
		50cm	KFG-20-120-C1-11 N50C2
		1m	KFG-20-120-C1-11 N1M2
Silver-clad copper wires	−196 to 150°C	25mm	KFG-20-120-C1-11

Uniaxial

- Base Size — 28 x 8 mm
- Gage Length — 20 mm
- Gage Resistance — 120Ω
- Pieces per Pack — 10

Figure A.9.1. Caractéristiques de la jauge KFG 20-120-C1-11.
Source : d'après le fabricant Kyowa