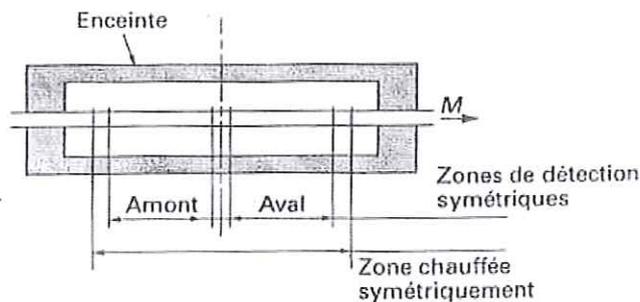


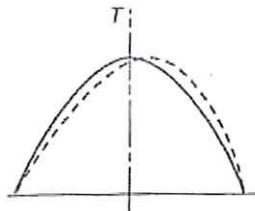
FINAL MC51 du 24 /6/2009

I) MESURE DE DEBIT PAR CAPACITE THERMIQUE

Les débitmètres thermiques ne comportent pas de pièces mobiles. Un conduit tubulaire est disposé dans une enceinte thermique E. La construction est entièrement symétrique : un chauffage homogène sur le tube avec une résistance produit, en l'absence de débit, un profil de température parfaitement symétrique. La circulation du fluide dans le tube provoque une diminution de température en amont et une augmentation en aval (fig. b). L'écart de température mesuré entre les points amont et aval est directement proportionnel au débit.



(a) schéma à conduit rectiligne



(b) profil de température T longitudinal
(en trait plein : sans débit ;
en tirets : avec débit)

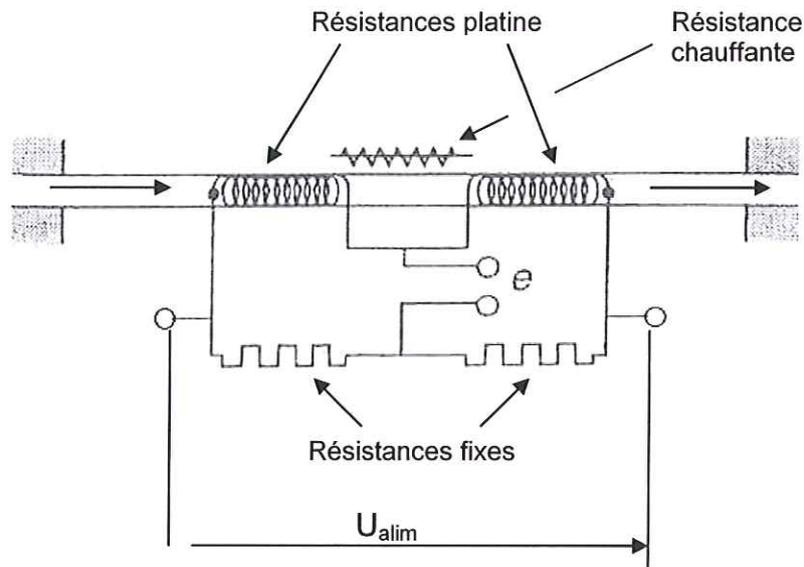
La variation de température du fluide est liée à la puissance thermique fournie telle que :

$$W = M \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Avec, **W** puissance thermique mise en œuvre
M débit-masse mesuré,
C_p capacité thermique massique du fluide à pression constante,
ΔT élévation de température du fluide

Ce principe ne s'applique que si toute la masse du fluide est uniformément chauffée et se trouve en équilibre avec les capteurs thermiques. Pratiquement, cela n'est réalisable que pour de faibles débits.

A) Mesure avec résistances platine.



L'écart entre les températures amont et aval est dans ce cas mesuré grâce à deux résistances platine montées dans un pont de Wheatstone. Les deux résistances fixes du pont de Wheatstone font 120Ω et la tension d'alimentation du pont fait $0,1 \text{ V}$.

La résistance des sondes platine suit la loi générale :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t-100)]$$

Avec :

t température ($^{\circ}\text{C}$)

$A = 3,908 02 \cdot 10^{-3} /^{\circ}\text{C}$

$B = - 5,802 \cdot 10^{-7} /(^{\circ}\text{C})^2$

$C = 0$ si $t \geq 0$

$C = - 4,273 5 \cdot 10^{-12} /(^{\circ}\text{C})^4$ si $t < 0$

et $R_0 = 100 \Omega$ résistance à 0°C

On souhaite mesurer le débit d'un gaz dont la pression reste constante.

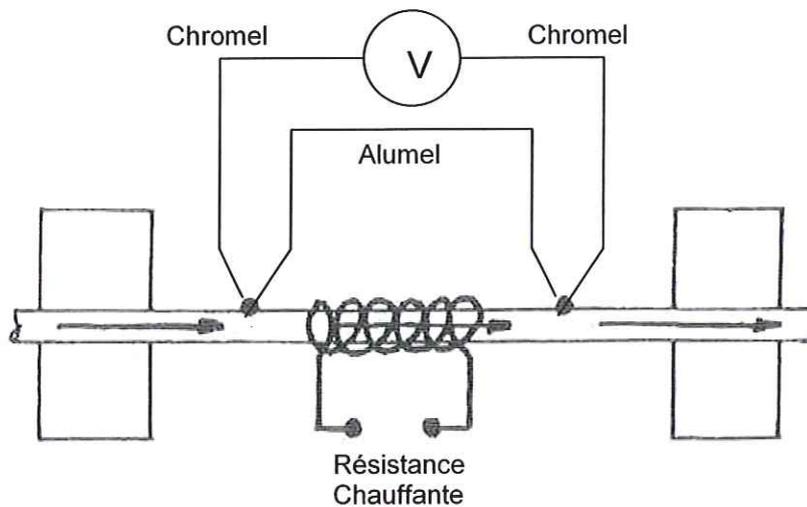
La température du gaz à l'entrée du débitmètre est de 22°C , sa capacité thermique $C_p = 2,24 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot ^{\circ}\text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

La résistance chauffante (20Ω) est alimentée sous une tension continue de 5 V .

a) Après avoir attendu l'équilibre du système, la tension e mesurée aux bornes du pont est égale à $- 0,35 \text{ mV}$. Déterminez la valeur de la résistance en sortie du débitmètre.

b) Déterminez le débit-masse de gaz (en g/h) traversant le débitmètre.

B) Mesure avec thermocouples



L'écart de température est dans cette nouvelle configuration mesuré à l'aide de thermocouples. La résistance chauffante (20Ω) est comme précédemment alimentée sous 5 V . Les thermocouples utilisés sont de type K (Chromel-Alumel). Le voltmètre mesurant la f.é.m. circulant dans le circuit thermoélectrique indique $0,446 \text{ mV}$. La température d'entrée du gaz dans le débitmètre est égale à 22°C .

c) Quelle est la température de la jonction du thermocouple située au niveau de la sortie du gaz ?

d) Quel est le débit-masse de gaz (en g/h) traversant le débitmètre ?

La longueur totale des fils constituant le circuit thermoélectrique est de l'ordre de 1 m , leur diamètre de l'ordre du millimètre et la résistivité moyenne de l'ordre de $10^{-7} \Omega\text{m}$. On dispose d'un voltmètre numérique de résistance interne $1\text{M}\Omega$, quel que soit le calibre utilisé. Les calibres sont $0,1\text{mV}$, $0,3 \text{ mV}$, 1 mV , 3 mV , 10 mV , 30 mV et $0,1\text{V}$.

e) Montrez que l'on peut utiliser ce voltmètre avec une précision adaptée à la situation :

- du point de vue calibre
- du point de vue de sa résistance interne.

On s'aperçoit après coup que les thermocouples ayant permis de faire la mesure sont en réalité de type S (platine/platine-rhodié).

f) Recalculez le bon débit de gaz ?



PLATINE
RHODIE 10%

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50	-236	-194	-159	-124	-90	-57	-24	9	44	99
-40	-154	-119	-84	-49	-14	19	54	89	124	159
-30	-114	-79	-44	-9	26	61	96	131	166	201
-20	-74	-39	-4	31	66	101	136	171	206	241
-10	-34	1	36	71	106	141	176	211	246	281
0	6	41	76	111	146	181	216	251	286	321
10	66	101	136	171	206	241	276	311	346	381
20	126	161	196	231	266	301	336	371	406	441
30	186	221	256	291	326	361	396	431	466	501
40	246	281	316	351	386	421	456	491	526	561
50	306	341	376	411	446	481	516	551	586	621
60	366	401	436	471	506	541	576	611	646	681
70	426	461	496	531	566	601	636	671	706	741
80	486	521	556	591	626	661	696	731	766	801
90	546	581	616	651	686	721	756	791	826	861
100	606	641	676	711	746	781	816	851	886	921
110	666	701	736	771	806	841	876	911	946	981
120	726	761	796	831	866	901	936	971	1006	1041
130	786	821	856	891	926	961	996	1031	1066	1101
140	846	881	916	951	986	1021	1056	1091	1126	1161
150	906	941	976	1011	1046	1081	1116	1151	1186	1221
160	966	1001	1036	1071	1106	1141	1176	1211	1246	1281
170	1026	1061	1096	1131	1166	1201	1236	1271	1306	1341
180	1086	1121	1156	1191	1226	1261	1296	1331	1366	1401
190	1146	1181	1216	1251	1286	1321	1356	1391	1426	1461
200	1206	1241	1276	1311	1346	1381	1416	1451	1486	1521
210	1266	1301	1336	1371	1406	1441	1476	1511	1546	1581
220	1326	1361	1396	1431	1466	1501	1536	1571	1606	1641
230	1386	1421	1456	1491	1526	1561	1596	1631	1666	1701
240	1446	1481	1516	1551	1586	1621	1656	1691	1726	1761
250	1506	1541	1576	1611	1646	1681	1716	1751	1786	1821
260	1566	1601	1636	1671	1706	1741	1776	1811	1846	1881
270	1626	1661	1696	1731	1766	1801	1836	1871	1906	1941
280	1686	1721	1756	1791	1826	1861	1896	1931	1966	2001
290	1746	1781	1816	1851	1886	1921	1956	1991	2026	2061
300	1806	1841	1876	1911	1946	1981	2016	2051	2086	2121
310	1866	1901	1936	1971	2006	2041	2076	2111	2146	2181
320	1926	1961	1996	2031	2066	2101	2136	2171	2206	2241
330	1986	2021	2056	2091	2126	2161	2196	2231	2266	2301
340	2046	2081	2116	2151	2186	2221	2256	2291	2326	2361
350	2106	2141	2176	2211	2246	2281	2316	2351	2386	2421
360	2166	2201	2236	2271	2306	2341	2376	2411	2446	2481
370	2226	2261	2296	2331	2366	2401	2436	2471	2506	2541
380	2286	2321	2356	2391	2426	2461	2496	2531	2566	2601
390	2346	2381	2416	2451	2486	2521	2556	2591	2626	2661
400	2406	2441	2476	2511	2546	2581	2616	2651	2686	2721
410	2466	2501	2536	2571	2606	2641	2676	2711	2746	2781
420	2526	2561	2596	2631	2666	2701	2736	2771	2806	2841
430	2586	2621	2656	2691	2726	2761	2796	2831	2866	2901
440	2646	2681	2716	2751	2786	2821	2856	2891	2926	2961
450	2706	2741	2776	2811	2846	2881	2916	2951	2986	3021
460	2766	2801	2836	2871	2906	2941	2976	3011	3046	3081
470	2826	2861	2896	2931	2966	3001	3036	3071	3106	3141
480	2886	2921	2956	2991	3026	3061	3096	3131	3166	3201
490	2946	2981	3016	3051	3086	3121	3156	3191	3226	3261
500	3006	3041	3076	3111	3146	3181	3216	3251	3286	3321
510	3066	3101	3136	3171	3206	3241	3276	3311	3346	3381
520	3126	3161	3196	3231	3266	3301	3336	3371	3406	3441
530	3186	3221	3256	3291	3326	3361	3396	3431	3466	3501
540	3246	3281	3316	3351	3386	3421	3456	3491	3526	3561

FEM absolue du thermocouple, en microvolts

FEM absolue du thermocouple, en microvolts

Tables de Référence Internationales pour Thermocouples au NICKEL-CHROME/NICKEL-ALUMINIUM

Jonction de Référence à 0°C

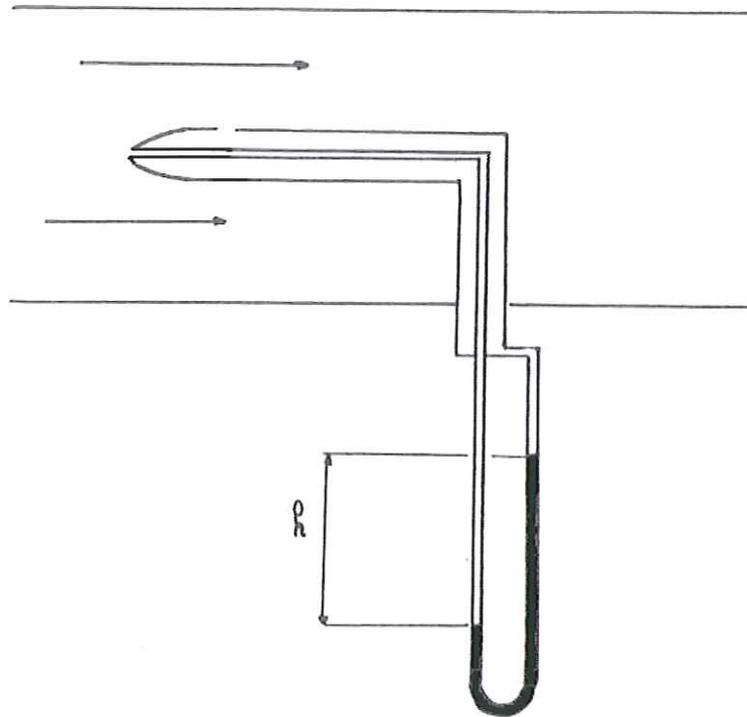
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-270	-6458	-6444	-6446	-6448	-6450	-6452	-6453	-6455	-6456	-6457	12207	12249	12290	12332	12373	12415	12456	12498	12539	12581
-260	-6441	-6408	-6413	-6417	-6421	-6425	-6429	-6432	-6435	-6438	12623	12664	12706	12747	12789	12831	12872	12914	12955	12997
-250	-6404	-6358	-6368	-6374	-6382	-6390	-6398	-6406	-6414	-6421	13039	13080	13122	13164	13205	13247	13289	13331	13372	13414
-240	-6344	-6321	-6328	-6334	-6342	-6350	-6358	-6366	-6374	-6382	13456	13497	13539	13581	13623	13665	13707	13748	13790	13832
-230	-6262	-6271	-6280	-6289	-6297	-6306	-6314	-6323	-6332	-6341	13874	13915	13957	13999	14041	14083	14125	14167	14208	14250
-220	-6158	-6170	-6181	-6192	-6202	-6213	-6223	-6233	-6243	-6253	14292	14334	14376	14418	14460	14502	14544	14586	14628	14670
-210	-6035	-6048	-6061	-6074	-6087	-6099	-6111	-6123	-6135	-6147	14712	14754	14796	14838	14880	14922	14964	15006	15048	15090
-200	-5907	-5907	-5922	-5936	-5951	-5965	-5980	-5994	-6007	-6021	15132	15174	15216	15258	15300	15342	15384	15426	15468	15510
-190	-5730	-5747	-5763	-5780	-5796	-5813	-5829	-5845	-5860	-5876	15552	15594	15636	15679	15721	15763	15805	15847	15889	15931
-180	-5550	-5569	-5587	-5606	-5624	-5642	-5660	-5678	-5695	-5712	15974	16016	16058	16100	16142	16184	16226	16268	16311	16353
-170	-5354	-5374	-5394	-5414	-5434	-5454	-5474	-5493	-5512	-5531	16338	16380	16422	16464	16506	16548	16590	16632	16674	16716
-160	-5141	-5163	-5185	-5207	-5228	-5249	-5271	-5292	-5313	-5333	16818	16860	16902	16944	16986	17028	17070	17112	17154	17196
-150	-4912	-4936	-4959	-4983	-5006	-5029	-5051	-5074	-5097	-5119	17241	17283	17325	17368	17410	17452	17494	17537	17580	17622
-140	-4669	-4694	-4719	-4743	-4768	-4792	-4817	-4841	-4865	-4889	17664	17707	17749	17792	17834	17876	17919	17961	18004	18046
-130	-4410	-4437	-4463	-4489	-4515	-4541	-4567	-4593	-4618	-4644	18088	18131	18173	18216	18258	18301	18343	18385	18428	18470
-120	-4138	-4166	-4193	-4221	-4248	-4276	-4303	-4330	-4357	-4384	18513	18555	18598	18640	18683	18725	18768	18810	18853	18895
-110	-3852	-3881	-3910	-3939	-3968	-3997	-4025	-4053	-4082	-4110	18938	18980	19023	19065	19108	19150	19193	19235	19278	19320
-100	-3553	-3584	-3614	-3644	-3674	-3704	-3734	-3764	-3793	-3823	19363	19405	19448	19490	19533	19576	19618	19661	19703	19746
-90	-3242	-3274	-3305	-3337	-3368	-3399	-3430	-3461	-3492	-3523	19768	19810	19852	19895	19937	19980	20022	20064	20106	20148
-80	-2920	-2953	-2985	-3018	-3050	-3082	-3115	-3147	-3179	-3211	20214	20256	20298	20340	20382	20424	20466	20508	20550	20592
-70	-2596	-2629	-2662	-2695	-2727	-2759	-2791	-2823	-2855	-2887	20640	20682	20724	20766	20808	20850	20892	20934	20976	21018
-60	-2243	-2277	-2311	-2344	-2377	-2410	-2443	-2476	-2508	-2541	21066	21108	21150	21192	21234	21276	21318	21360	21402	21444
-50	-1889	-1925	-1961	-1996	-2032	-2067	-2102	-2137	-2173	-2208	21493	21535	21577	21619	21661	21703	21745	21787	21829	21871
-40	-1527	-1563	-1600	-1636	-1673	-1709	-1745	-1781	-1817	-1853	21919	21961	22003	22045	22087	22129	22171	22213	22255	22297
-30	-1156	-1193	-1231	-1268	-1305	-1342	-1379	-1416	-1453	-1490	22272	22314	22356	22398	22440	22482	22524	22566	22608	22650
-20	-777	-816	-854	-892	-930	-968	-1005	-1043	-1081	-1118	22644	22686	22728	22770	22812	22854	22896	22938	22980	23022
-10	-392	-431	-469	-508	-547	-585	-624	-662	-701	-739	22942	22984	23026	23068	23110	23152	23194	23236	23278	23320
0	0	0	-39	-79	-118	-157	-197	-236	-275	-314	23326	23368	23410	23452	23494	23536	23578	23620	23662	23704
0	0	39	79	119	158	198	238	277	317	357	23624	23666	23708	23750	23792	23834	23876	23918	23960	24002
10	397	437	477	517	557	597	637	677	717	758	24050	24092	24134	24176	24218	24260	24302	24344	24386	24428
20	798	838	879	919	960	1000	1041	1081	1122	1162	24476	24518	24560	24602	24644	24686	24728	24770	24812	24854
30	1203	1244	1285	1325	1366	1407	1448	1489	1529	1570	24802	24844	24886	24928	24970	25012	25054	25096	25138	25180
40	1611	1652	1693	1734	1776	1817	1858	1899	1940	1981	25242	25284	25326	25368	25410	25452	25494	25536	25578	25620
50	2022	2064	2105	2146	2188	2229	2270	2312	2353	2394	25662	25704	25746	25788	25830	25872	25914	25956	25998	26040
60	2436	2477	2519	2560	2601	2643	2684	2726	2767	2809	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858
70	2850	2892	2933	2975	3016	3058	3100	3141	3183	3224	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905
80	3266	3307	3349	3390	3432	3473	3515	3556	3598	3639	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915
90	3681	3722	3764	3805	3847	3888	3930	3971	4012	4054	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925
100	4095	4137	4178	4219	4261	4302	4343	4384	4425	4467	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935
110	4508	4549	4590	4632	4673	4714	4755	4796	4837	4878	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945
120	4919	4960	5001	5042	5083	5124	5164	5205	5246	5287	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955
130	5327	5368	5409	5450	5490	5531	5571	5612	5652	5693	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965
140	5733	5774	5814	5855	5895	5936	5976	6016	6057	6097	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975
150	6137	6177	6218	6258	6298	6338	6378	6419	6459	6499	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985
160	6539	6579	6619	6659	6699	6739	6779	6819	6859	6899	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995
170	6939	6979	7019	7059	7099	7139	7179	7219	7259	7299	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005
180	7338	7378	7418	7458	7498	7538	7578	7618	7658	7697	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015
190	7737	7777	7817	7857	7897	7937	7977	8017	8057	8097	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025
200	8137	8177	8216	8256	8296	8336	8376	8416	8456	8497	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035
210	8537	8577	8617	8657	8697	8737	8777	8817	8857	8898	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045
220	8938	8978	9018	9058	9099	9139	9179	9219	9259	9299	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055
230	9341	9381	9421	9462	9502	9543	9583	9624	9664	9705	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065
240	9745	9786	9826	9867	9907	9948	9989	10029	10070	10111	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075
250	10151	10192	10233	10274	10315	10355	10396	10437	10478	10519	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085
260	10560	10601	10641	10682	10723	10764	10805	10846	10887	10928	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095
270	10969	11010	11051	11093	11134	11175	11216	11257	11298	11339	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105
280	11381	11422	11463	11504	11545	11587	11628	11669	11711	11752	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115
290	11793	11835	11876	11918	11959	12000	12042	12083	12125	12166	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125

FEM absolue du thermocouple, en microvolts

FFM absolue du thermocouple en microvolts



II) MESURE D'UN DEBIT DE GAZ AVEC UN TUBE DE PITOT



Les deux sorties du tube de Pitot sont reliées à un manomètre en U. On considère la vitesse du gaz constante sur toute la section de la conduite.

a) Exprimez la vitesse V du gaz dans la conduite en fonction de la hauteur h lue sur le manomètre en U.

b) A partir des données suivantes, déterminez le débit maximal mesurable.

Diamètre conduite = $8 \cdot 10^{-2} \pm 10^{-4}$ m

Masse volumique du gaz : $\rho_g = 1,293 \pm 0,005$ kg.m⁻³

Masse volumique du liquide manomètre : $\rho_l = 745,5 \pm 0,3$ kg.m⁻³

Gravité $g = 9,808 \pm 0,002$ m.s⁻²

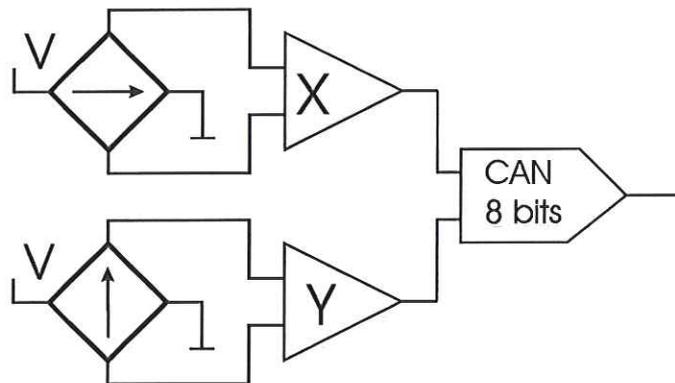
Hauteur maximale $h = 0,6$ m (incertitude absolue $0,5 \cdot 10^{-3}$)

c) Déterminez l'incertitude sur ce débit maximal.

III) CAPTEURS ET COMMUNICATION (réponses sur une feuille séparée)

Boussole électronique

On dispose d'un capteur de champ magnétique composé de deux ponts à magnétorésistances dont les axes privilégiés X et Y sont perpendiculaires. Chaque pont est relié à une électronique de mise en forme fournissant un signal compris entre 0 et 5V, ce qui signifie que lorsqu'un pont sort une tension différentielle nulle, le signal à la sortie de l'électronique est de 2.5V.



On utilise un convertisseur Analogique-Numérique 8bits convertissant une tension comprise entre 0 et 5V en une valeur comprise entre 0 et 255. Lorsque la sortie différentielle d'un pont est nulle, le convertisseur produit la valeur 128. lorsque la sortie différentielle est positive, la valeur numérique correspondante sera supérieure à 128.

Le pont dont l'axe principal est orienté plein Nord fournit une tension différentielle maximale positive, l'autre pont, fournira une tension différentielle nulle.

On place le capteur dans une orientation quelconque, et on relève à la sortie du convertisseur les valeurs 223 pour le pont d'axe Y et 178 pour le pont d'axe X.

- 1) En faisant tourner le capteur, quelle est la valeur maximale que l'on obtiendra sur l'un des axes s'il est orienté plein Nord ?
- 2) Quel est, en degrés, l'angle que fait l'axe Y avec le Nord ?

Transmission RS232

Combien de temps faut-il pour transmettre les 26 lettres de l'alphabet (en code ASCII) à une vitesse de 300 bauds, 8 bits, 1 start, 1 stop, pas de parité ?

Mise en forme d'un signal

Un capteur fournit un signal alternatif dont l'amplitude maximale est 0.1V. On désire numériser ce signal à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique admettant en entrée une tension comprise entre 0 et 5V.

- 1) Quelles opérations doit-on effectuer sur ce signal pour obtenir une précision maximale lors de la conversion ?
- 2) Dessinez un schéma à base d'amplificateurs opérationnels, sans mentionner de valeur pour les résistances.