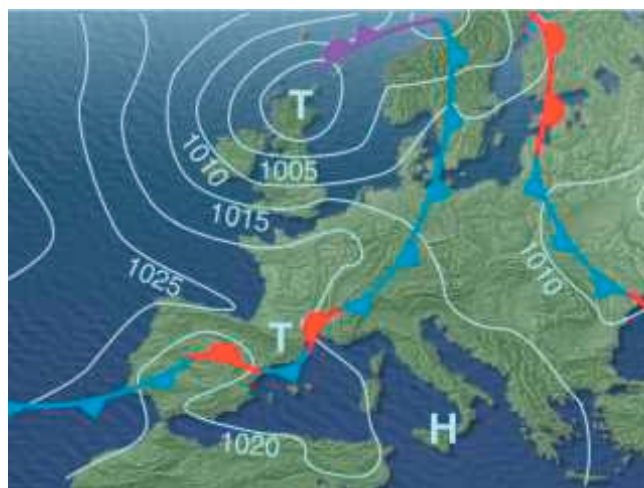


1 Utilisation du MS5534 comme baromètre

Les stations météo prédisent les changements de temps en mesurant la variation de la pression atmosphérique dans le temps. Les anciens baromètres mécaniques utilisaient quant à eux plutôt la valeur absolue de la pression comme indication des conditions météo; Une pression élevée signifiant "beau temps" alors qu'une pression basse est interprétée comme "mauvais temps". Comme référence de pression, on considère alors la valeur de 1013.25 mbar au niveau de la mer. Une variation "normale" de la pression se situe en général dans une fourchette de +/- 20 mbar. Le graphique de droite représente les courbes isobares (c'est-à-dire les endroits ayant une pression ramenée au niveau de la mer identiques). Ainsi on dispose d'une information indépendante du relief. Ceci est nécessaire car la pression diminue de 1mbar lorsque l'altitude augmente 10 mètres (dans les zones proches du niveau de la mer). C'est pour cette raison qu'un baromètre doit être calibré pour l'altitude à laquelle il sera utilisé. Evidemment, il ne doit pas bouger en altitude après cette opération. Dans ces conditions, la valeur absolue de la pression est un indicateur des conditions météo actuelles alors que la variation de cette pression est un indicateur de son évolution future. En effet, la pression varie toujours à l'avant d'un changement de conditions météo (front météo). Certains baromètres très simples ne mesurent que la variation de pression (par ex. 2.5 mbar) indépendamment de leur durée dans le temps, pour afficher l'évolution météo.



Source : Deutscher Wetterdienst, Germany

Par exemple:

$dP > +2.5\text{mbar}$	Symbole "Beau"
$-2.5\text{mbar} > dP > 2.5\text{mbar}$	Symbole "Variable"
$dP < -2.5\text{mbar}$	Symbole "Pluie"

Ceci n'est pas très précis car une variation de température peut déjà engendrer une variation de pression de l'ordre de 1 à 2 mbar. De plus, certaines études ont montré que l'analyse de la variation de pression qui se produit dans un intervalle de temps de 2 à 3 heures est le meilleur indicateur pour faire une prévision. Ainsi les baromètres plus sophistiqués utilisent la pente dP/dt de variation de pression en fonction du temps comme indicateur.

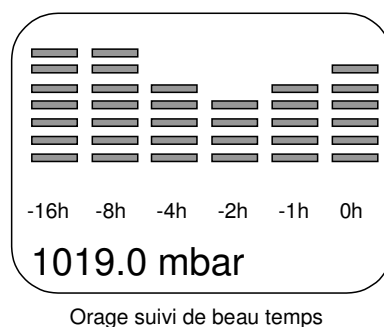
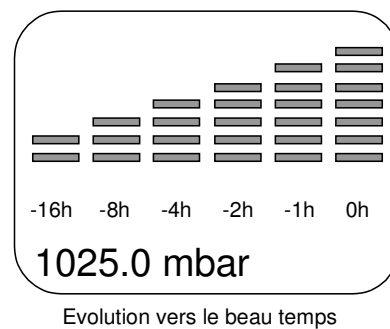
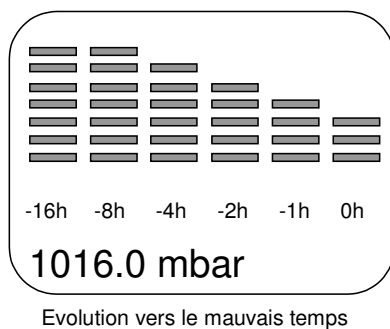
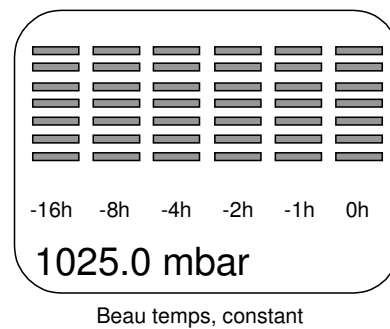
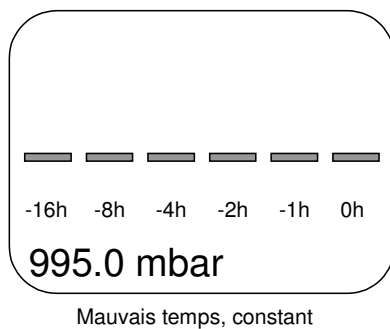
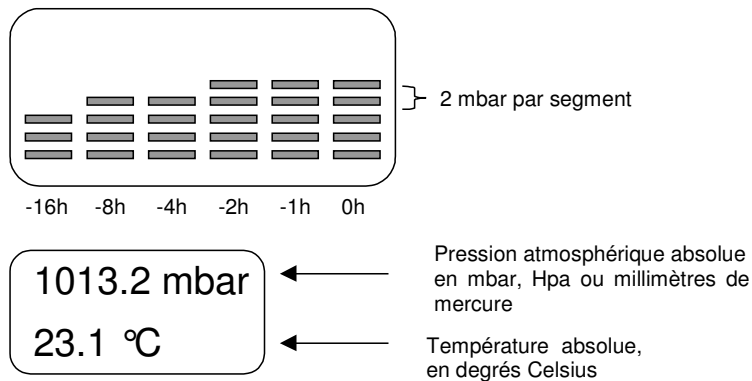
Exemple:

$dP/dt > 2.5\text{mb/h}$	Haute pression transitoire, instable
$0.5\text{mb/h} < dP/dt < 2.5\text{mb/h}$	Haute pression à long terme, beau temps stable
$-0.5\text{mb/h} < dP/dt < 0.5\text{mb/h}$	Condition météo stable
$-2.5\text{mb/h} < dP/dt < -0.5\text{mb/h}$	Basse pression à long terme, pluie, stable
$dP < -2.5\text{mb/h}$	Basse pression transitoire, Orages, instable

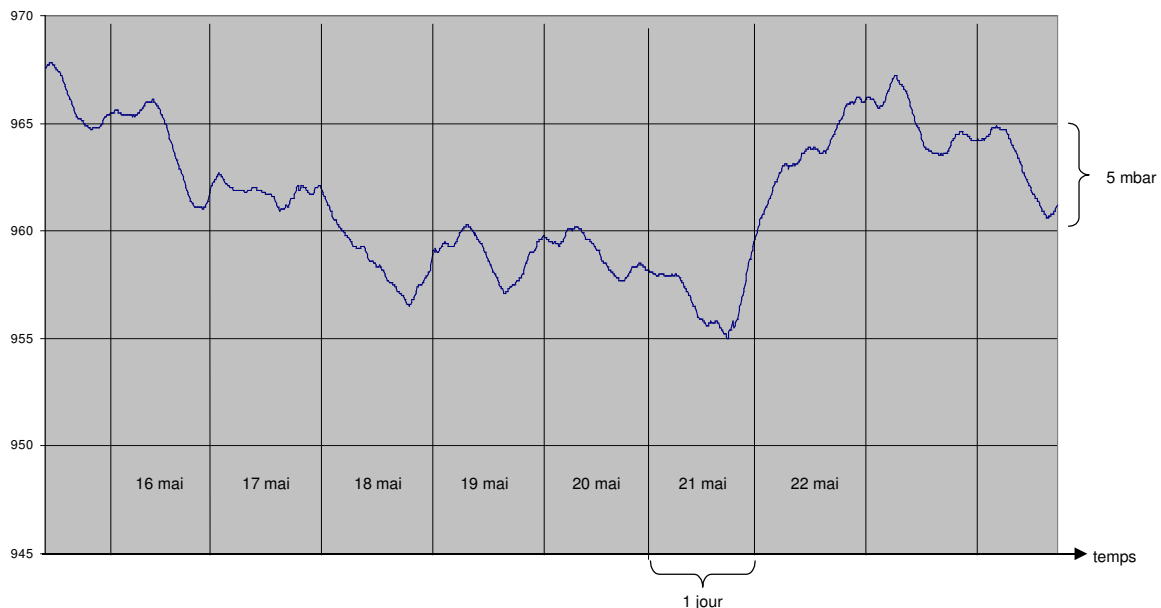
L'algorithme donné ci-dessus est déjà plus fiable mais peut donner des résultats erronés car il ne tient pas compte des conditions locales du terrain. Cette méthode ne fonctionne pas à proximité d'une montagne car celle-ci agit comme barrière climatique qui se traduit très différemment en variation de pression. On peut également donner en exemple des régions très sèches de l'Espagne où une baisse de pression ne signifie pas forcément l'arrivée de nuages contrairement aux régions septentrionales de l'Europe.

En conclusion, la majorité des baromètres électroniques modernes laissent l'utilisateur prédire le temps en utilisant leur expérience plutôt qu'en utilisant un algorithme plus ou moins compliqué inadapté aux conditions locales. Pour cela, les baromètres affichent généralement l'évolution de la pression durant les heures passées.

Par exemple:



Evolution de la pression atmosphérique du 15.5. au 24.5.2000 à Bevaix, Suisse (Altitude = 450 mètres). Capteur MS5534:



La semaine a commencé de manière très ensoleillée et chaude, le lundi 15 mai 2000, avec une pression de 967 mbar, ce qui est approximativement 7 mbar en dessus de la pression attendue à cette altitude (960 mbar à 450 m). Le tendance de la semaine était clairement en direction du mauvais temps. On peut noter que la pression remonte un peu la nuit car l'air se refroidit, augmentant ainsi la pression au sol.

C'est finalement durant le week du 20 que la pluie a commencé. Le pression a atteint un minimum le soir du 21 vers 19h avec une pression de 955 mbar. Après ce creux, le temps s'est rapidement amélioré pour redevenir ensoleillé. Le changement de pression global était uniquement de 12 mbar car la centre de la dépression était alors situé au Danemark soit à plus de 1000km de Bevaix.

Dans certaines régions géographiques, la variation peut atteindre +/- 25 mbar et même parfois +/- 50 mbar dans le cas d'ouragans aux Caraïbes.

On peut donc en déduire que la pression atmosphérique en elle-même n'est pas suffisante pour prédire le temps. Les premières stations météo auraient ainsi prédit, dans l'exemple ci-dessus, une pluie pour le 16 mai déjà. Il semble évident que la seule la combinaison de la mesure de la pression absolue et relative peut fournir un résultat satisfaisant.

On comprendra également que seuls les capteurs de pression compensés en température doivent être utilisés; 12 mbar ne représentant que 1.2% de la gamme complète du capteur.

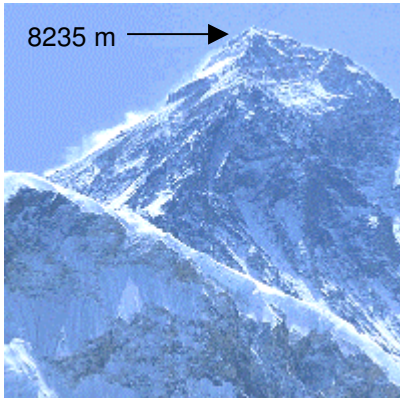
Pour un baromètre professionnel, la pression ne doit pas varier de plus de 1 mbar pour toute la gamme de température, sinon il risque d'être perturbé par des facteurs tels que le soleil dans une chambre ou par les températures basses rencontrés en altitude (par les alpinistes par exemple). Dans ce dernier cas, le baromètre est un élément vital en raison des brusques variations météo observées en altitude.

La stabilité à long terme est moins importante car on peut facilement corriger le capteur, en cas de doute, en utilisant les données fournies par les stations météo officielles locales.

Le MS5534 a une erreur en température de moins de +/- 1 mbar (soit 0.1%) sur toute la gamme de température. L'erreur d'offset (décalage) correspond à +/- 1.5 mbar (soit 0.15%).

Pour une application barométrique, il suffit de prendre une mesure toutes les 20 minutes et de les moyenner par trois pour obtenir une nouvelle valeur chaque heure. Dans une telle configuration, le MS5534 consomme moins de 0.5 μ A.

2 Utilisation du MS5534 comme altimètre



Comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, la pression atmosphérique change de manière importante avec l'altitude. Elle diminue approximativement de 7 mbar lorsque l'on monte de 100 mètres (dans les zones proches de la mer). La pression atmosphérique représente directement le poids de la masse d'air situé en dessus du capteur (c'est-à-dire jusqu'aux limites de l'atmosphère). Etant donné que l'air est compressible, sa densité diminue lorsque l'altitude augmente. La relation entre l'altitude et la pression atmosphérique est ainsi hautement non-linéaire (voir graphique ci-dessous). A 8848 mètres d'altitude, soit l'altitude du point le plus haut de la planète, la pression avoisine 310 mbar. Une approximation de cette relation peut être trouvée dans "US Standard Atmosphere 1976" qui prend également en compte le profil de température typique de l'atmosphère. L'atmosphère jusqu'à 25'000m est divisée en deux régions; la troposphère (jusqu'à 11'000m) caractérisée par un profil de température linéaire selon l'altitude et la

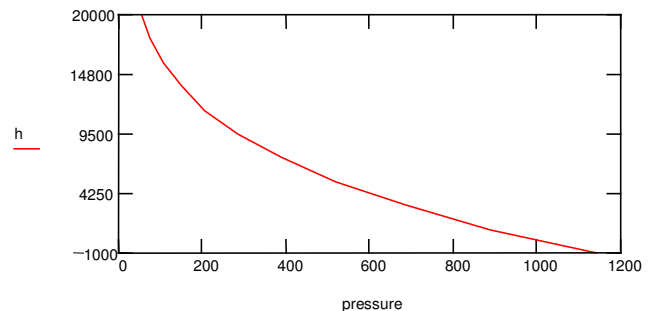
basse stratosphère (de 11'000 à 25'000m) avec une température constante. En utilisant ce modèle, on peut construire un altimètre de haute précision.

Troposphère: $p = 1012.9 \cdot \left(\frac{288.14 - 0.00649 \cdot h}{288.08} \right)^{5.256}$

Stratosphère: $p = 226.5 \cdot e^{1.73 - 0.000157 \cdot h}$

Conversion pression en altitude (troposphère):

$$h = \frac{T_0}{T_{\text{gradient}}} \cdot \left(1 - \left(\frac{p}{P_0} \right)^{T_{\text{gradient}} \frac{R}{g}} \right)$$



Notes:

Le standard "1976 US Standard Atmosphere" est basé sur les hypothèses suivantes:

- Pression à l'altitude zéro $P_0 = 101325$ [Pa] (= 1'013.25 mbar)
- Température à l'altitude zéro $T_0 = 288.15$ [K]
- Gradient de température $T_{\text{gradient}} = 6.5/1000$ [K/m] dans la troposphère
- Température dans la stratosphère = -56.46 °C
- R, constante des gaz $R = R^*/M_0$ $R = 287.052$ [J/(K * kg)]

100 Pa = 1 mbar

Les formules ne prennent pas en compte les conditions météorologiques spéciales telle que l'inversion qui apparaît souvent en hiver, ni les changements de pression dus aux conditions météo. L'accumulation de ces erreurs peut engendrer une erreur totale représentant jusqu'à 200 mètres au niveau de la mer. Quoiqu'il en soit, les altimètres électroniques sont utiles car ils sont relativement précis si on corrige certaines erreurs (en utilisant les informations relatives aux conditions météo actuelles).

Une méthode conventionnelle d'ajustement de l'altimètre consiste à corriger l'offset régulièrement en allant à des endroits dont l'altitude est connue (lacs, vallées, montagnes,...).

Les altimètres disponibles sur le marché affichent généralement une plage de fonctionnement allant de -1000 à 4000, 5000 voire 9000 mètres, avec une résolution de 1 m. Cependant, la précision est plus importante encore que la résolution et l'erreur due à la température doit vraiment être faible.

On peut également citer, comme paramètre important, la consommation d'énergie du capteur et le taux de rafraîchissement qui dictera le type de batterie à utiliser.

La procédure suivante explique brièvement les étapes qui permettent de déduire l'altitude à partir des données fournies par le MS5534.

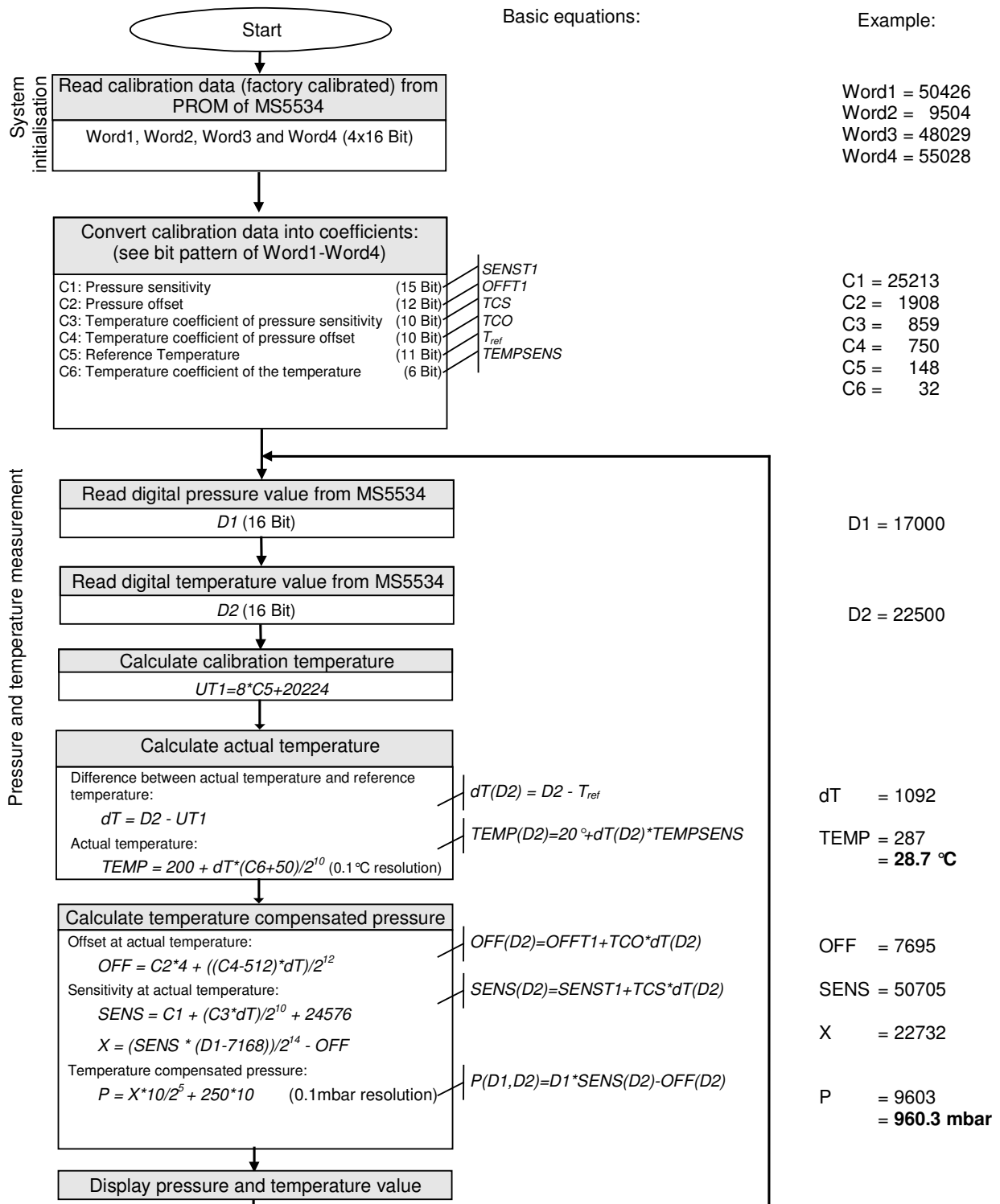
2.1.1 Lecture des mots de calibration W1-W4 du capteur

Les mots de calibration (4 mots de 16 bits) sont programmés d'usine et contiennent, sous forme encodée, des informations relatives aux tolérances du capteur (comme l'offset à pression nulle, la sensibilité,...). Ces mots sont figés et peuvent être lus par un microcontrôleur dans une routine d'initialisation. Le microcontrôleur doit alors calculer les coefficients C1 à C6 qui sont stockés dans les mots W1 à W4. Par exemple C2 est lié à l'offset de pression à pression nulle. Une valeur grande indique un offset grand.

2.1.2 Lecture des D1 et D2 (pression et température non-compensés), dans une boucle

D1 et D2 sont des mots de 16 bits. Ils représentent des valeurs de pression et température non-compensés. Ainsi D1 change avec la pression mais également avec la température. De plus, la valeur absolue pour une certaine pression n'est pas fixe mais peut changer d'une pièce à l'autre. On pourrait faire un baromètre ou un altimètre rudimentaire en utilisant directement D1 et D2, mais la précision serait vraiment faible et la dépendance en température serait trop importante. L'emploi du MS5534 implique donc la correction, dans le programme, de D1 en utilisant les coefficient C1 à C6 et la valeur D2. C2 corrigeant l'offset, C1 la sensibilité,... Le coefficient C6 est un peu différent car il n'est pas utilisé dans le calcul de la pression mais uniquement dans le calcul de la température. Il contient un paramètre qui affine le calcul de la température. Il est donc très utile lorsque l'on utilise le MS5534 comme thermomètre.

L'algorithme de compensation complet (tiré du datasheet du MS5534) est donné à la page suivante:



Le résultat du calcul est une valeur avec résolution de 0.1 mbar et une température avec résolution de 0.1 °C. La boucle peut, par exemple, être effectuée toutes les 500 millisecondes. Il est important de savoir que le bruit sur D1 correspond à environ +/- 0.4 mbar soit +/- 4 mètres au niveau de la mer. Pour avoir un affichage stable, nous conseillons donc de faire la moyenne des pressions et températures compensées issues de plusieurs mesures consécutives (par exemple 4 ou 8 mesures).

2.1.3 Filtre de P dans la boucle

Pour un altimètre avec une résolution de 1 mètre, il est important d'avoir un bruit de 0.1 mbar au maximum. Le filtre à utiliser dans ce cas devrait être un passe-bas du genre:

$$y_n = y_{n-1} * (1 - k) + x * k$$

Où x est la pression calculée à partir de la lecture du capteur. y est la pression filtrée et k un facteur d'amplification avec $k \in [0;1]$.

Evidemment, avant d'injecter une valeur de pression dans le filtre, il est nécessaire de vérifier qu'elle se trouve dans une gamme min/max de pressions acceptables. Des valeurs non significatives peuvent survenir par exemple lorsque l'application est démarrée ou lorsque le capteur est éteint pendant une mesure.

Exemple: Avec $k = 1/8$

x=9501	$y_0 = 9501$	Valeur de départ pour initialiser le filtre	
x=9500	$y_1 = 9501*0.875 + 9500*0.125 = 9500.875$	arrondi 9501	Affichage: 950.1 mbar
x=9504	$y_2 = 9501*0.875 + 9504*0.125 = 9501.375$	arrondi 9501	Affichage: 950.1 mbar
x=9502	$y_3 = 9501*0.875 + 9502*0.125 = 9501.125$	arrondi 9501	Affichage: 950.1 mbar
x=9510	$y_4 = 9501*0.875 + 9510*0.125 = 9502.125$	arrondi 9502	Affichage: 950.2 mbar
x=9512	$y_5 = 9502*0.875 + 9512*0.125 = 9503.250$	arrondi 9503	Affichage: 950.3 mbar
x=9511	$y_6 = 9503*0.875 + 9511*0.125 = 9504.554$	arrondi 9505	Affichage: 950.5 mbar

Important:

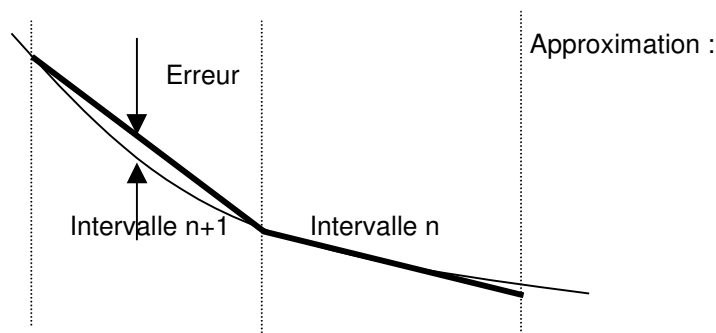
Le filtrage doit être effectué sur P et non pas sur D1 ni sur D2. Car D1 contient une information concernant la pression et la température. Filtrer D1 ou D2 reviendrait à diminuer l'efficacité de la compensation en température.

2.1.4 Calcul et affichage de la pression

Calculer l'altitude en fonction de la pression en utilisant la formule ci-dessous est bien trop compliqué pour un microcontrôleur 4 ou 8 bits car cela nécessiterait l'utilisation de calcul à virgule flottante.

$$h = \frac{288.15}{0.0065} \cdot \left(1 - \left(\frac{p}{101325} \right)^{0.0065 \cdot \frac{R}{g}} \right)$$

INTERSEMA a donc développé une formule simple basée sur une interpolation linéaire multiple qui donne une erreur de +/- 5 mètres entre -700 et 9000 mètres d'altitude et une erreur maximale de +/- 10 mètres entre 9000 et 16000 mètres d'altitude. Cette formule repose sur le principe de la décomposition de l'exponentielle en une multitude de droites permettant un calcul sans virgule flottante.



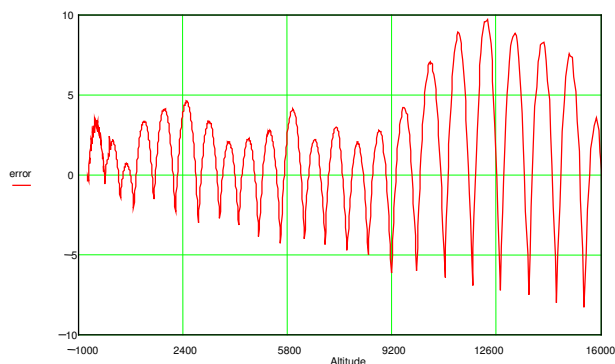
$$h = j_n - (P - P_{\text{lower}}) * i_n / 2^{11}$$

Où h = altitude en mètres
P = Pression en 0.1 mbar
 j_n, i_n = coefficients pour les intervalles

Approximation en unités métriques:

Limites de pression		Coefficients d'itération		Exemple	
P_{lower} [0.1 mbar]	P_{upper} [0.1 mbar]	i	j	pression p [0.1 mbar]	altitude h [m]
1000	1130	12256	16212	1130	15434
1130	1300	10758	15434	1300	14541
1300	1500	9329	14541	1500	13630
1500	1730	8085	13630	1730	12722
1730	2000	7001	12722	2000	11799
2000	2300	6069	11799	2300	10910
2300	2650	5360	10910	2650	9994
2650	3000	4816	9994	3000	9171
3000	3350	4371	9171	3350	8424
3350	3700	4020	8424	3700	7737
3700	4100	3702	7737	4100	7014
4100	4500	3420	7014	4500	6346
4500	5000	3158	6346	5000	5575
5000	5500	2908	5575	5500	4865
5500	6000	2699	4865	6000	4206
6000	6500	2523	4206	6500	3590
6500	7100	2359	3590	7100	2899
7100	7800	2188	2899	7800	2151
7800	8500	2033	2151	8500	1456
8500	9200	1905	1456	9200	805
9200	9700	1802	805	9700	365
9700	10300	1720	365	10300	-139
10300	11000	1638	-139	11000	-699

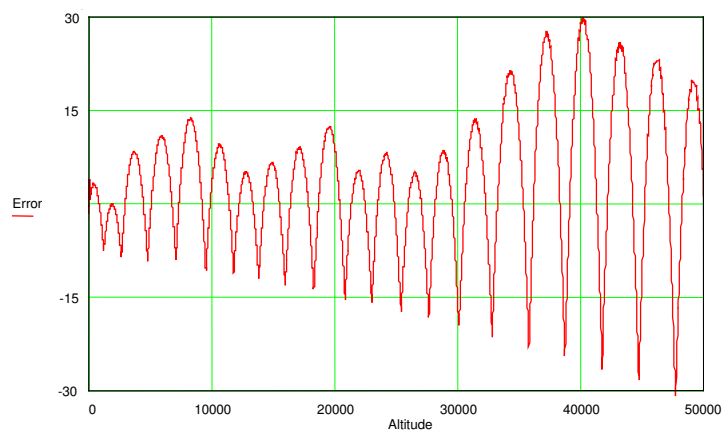
Erreur entre l'interpolation linéaire multiple et le modèle atmosphérique



Approximation identique générant un résultat en pieds

Limite de pression		Coefficients d'itération		Exemples	
P_{lower} [0.1 mbar]	P_{upper} [0.1 mbar]	i	j	pression p [0.1 mbar]	altitude h [feet]
1000	1130	40220	53184	1130	50631
1130	1300	35286	50631	1300	47702
1300	1500	30597	47702	1500	44714
1500	1730	26517	44714	1730	41736
1730	2000	22960	41736	2000	38709
2000	2300	19913	38709	2300	35792
2300	2650	17584	35792	2650	32787
2650	3000	15787	32787	3000	30089
3000	3350	14354	30089	3350	27636
3350	3700	13189	27636	3700	25382
3700	4100	12145	25382	4100	23010
4100	4500	11223	23010	4500	20818
4500	5000	10351	20818	5000	18291
5000	5500	9544	18291	5500	15961
5500	6000	8860	15961	6000	13798
6000	6500	8282	13798	6500	11776
6500	7100	7735	11776	7100	9510
7100	7800	7180	9510	7800	7056
7800	8500	6679	7056	8500	4773
8500	9200	6243	4773	9200	2639
9200	9700	5915	2639	9700	1195
9700	10300	5652	1195	10300	-461
10300	11000	5375	-461	11000	-2298

Erreur entre l'interpolation linéaire
multiple et le modèle
atmosphérique



2.1.5 A propos du rythme de conversion (nombre de conversions D1, D2 par seconde):

En général, le rythme de conversion doit être le plus haut possible pour donner à l'utilisateur une impression de réponse immédiate, par exemple lorsque l'on bouge l'altimètre d'une table au sol et vice-versa (ce qui devrait engendrer une variation d'altitude d'environ 1 mètre). Avec un rythme de conversion plus élevé, le facteur d'amplification du filtre peut être plus petit, résultant dans une plus grande résolution virtuelle. Pratiquement, on peut atteindre une résolution jusqu'à 30 cm si on gère correctement le bruit résultant du MS5534.

Le MS5534 est capable d'effectuer jusqu'à 15 conversions (D1 et D2) par secondes. Dans ce cas, la consommation serait de $2 \times 15 \times 5 \mu A = 150 \mu A$. Si la consommation est une préoccupation, alors il est préférable de ne faire qu'une conversion (D1 et D2) par seconde. Evidemment, la réponse sera plus lente, selon le filtre utilisé. Pratiquement, on utilise des rythmes de conversion de 0.5 secondes (ordinateurs de vélo avec affichage de l'altitude) à 20 secondes pour les petits appareils sur batterie.

2.1.6 A propos du rythme d'affichage

Il est préférable d'avoir un affichage continu utilisant un filtre "roulant" (comme celui expliqué plus haut) que d'afficher de temps en temps la moyenne de nouvelles mesures. Ainsi il vaut mieux afficher 1001m, 1002m, 1003m au lieu d'afficher 1000m, d'attendre 3 secondes et d'afficher 1003m.

2.1.7 A propos de la valeur D2

Comme nous l'avons mentionné, il est toujours préférable d'effectuer une paire de conversion D1 et D2 car D2 est utilisé pour compenser l'erreur en température de D1. Si la conversion de D2 n'est pas effectuée pendant un certain temps, la température peut changer et induire ainsi une erreur de compensation.

Exemple:

- Gradient de température : 1 °C/seconde (Dû par exemple à l'échauffement du module RF d'un téléphone portable)
- Gradient de température de D1 : -0.2%/°C (C'est le coefficient de température d'un capteur non compensé)
- Intervalle de temps entre la conversion D1 et D2 : 1 seconde

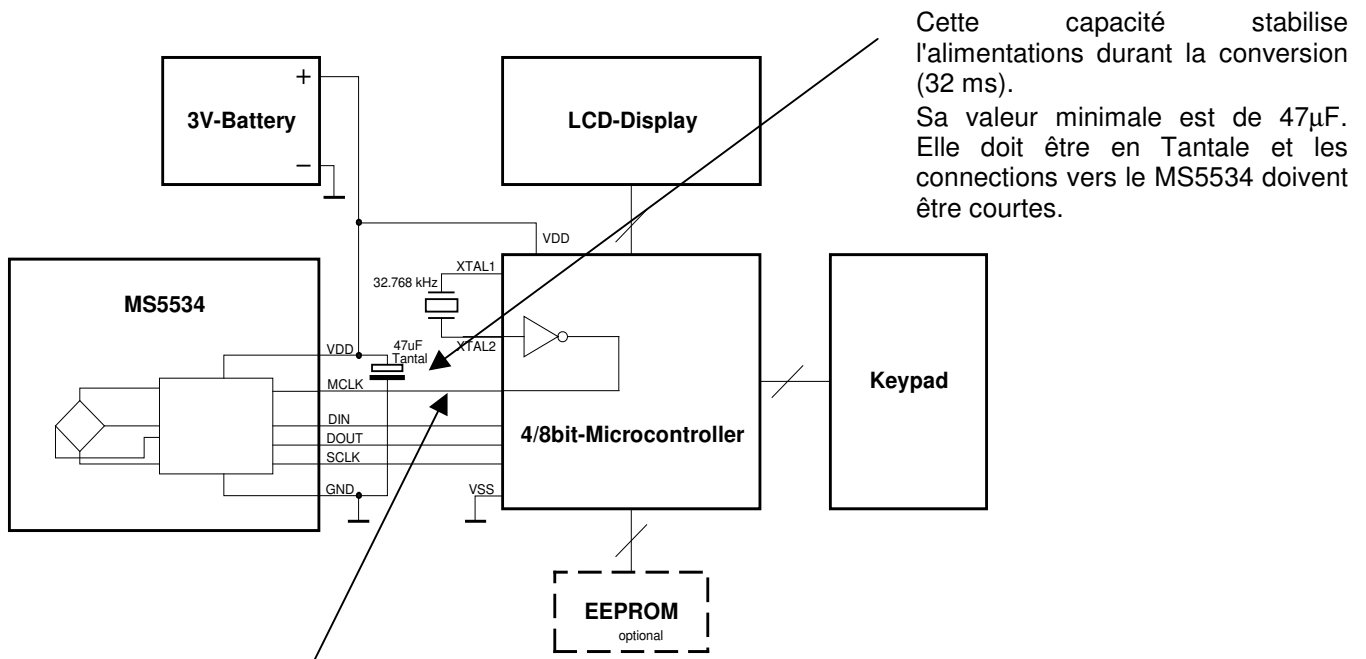
⇒ Erreur sur la pression à 1000 mbar = -0.2% of 1000mbar = -2 mbar = approx. -20 mètres

2.1.8 Utilisation du MS5534 comme thermomètre

Le MS5534 peut être utilisé comme thermomètre de haute résolution (jusqu'à 0.015°C !). Le capteur est le capteur de pression situé dans le capot métallique (ou plastique selon le modèle). Pour des applications comme les ordinateurs de vélo, le capteur peut mesurer précisément la température dans une gamme allant de -10°C à +60°C. L'utilisation dans les montres au poignets est plus compliquée car le corps humain chauffe le capteur. De même pour les appareils à grande consommation comme les récepteurs GPS ou les téléphones portables qui chauffent en raison des étages RF de puissance.

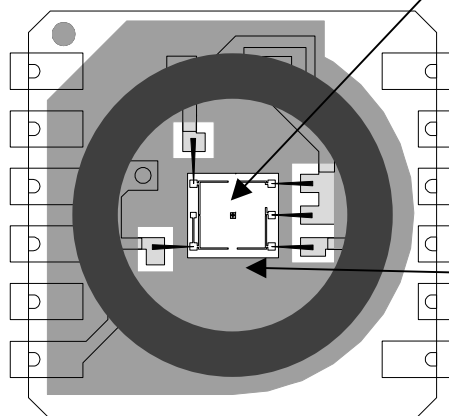
3 Recommandations pour l'utilisation du MS5534 dans le produit final

Le MS5534 est très simple à utiliser; il ne nécessite aucun composant externe mis à part une capacité. Les signaux sont digitaux (Attention : 2.4V - 3.6V) et peuvent être connectés directement à un microcontrôleur. La communication est entièrement contrôlée par le programme. C'est donc celui-ci qui définit le rythme des acquisitions. Le MS5534 nécessite également un signal d'horloge 32kHz qui peut généralement être récupéré sur le microcontrôleur. Cependant un certain nombre de précautions doivent tout de même être observées pour obtenir des résultats optimaux:



Le signal MCLK doit avoir des niveaux logiques et être sans perturbations (jitter). Il est utilisé pour le convertisseur A/D et doit avoir une fréquence de 32768Hz. Des fréquences différentes engendreront des résultats erronés.

Le capteur est sensible à la lumière. Il doit donc être placé dans le noir pendant son fonctionnement.



Le capteur est protégé par une goutte de gel. Cependant, un contact direct avec de l'eau peut modifier son comportement.

HISTOIRE DES REVISIONS

Date	Revision	Type of changes
16 sept. 2002	V1.0	Première publication
3 sept. 2003	V2.0	Changements dans la conversion de pression en altitude (addition des formules concernant la troposphère et stratosphère)
26 mai 2004	V3.0	Correction de la formule d'interpolation linéaire
22 décembre 2004	V4.0	Adaptation pour le MS5534B
30 juin 2005	V5.0	Adaptation pour le MS5534A RoHS
03 janvier 2006	V6.0	Inversions des formules concernant la stratosphère et la troposphère en page 4.

CONTACTS D'USINE

Intersema Sensoric SA	Tel. (032) 847 9550
Ch. Chapons-des-Prés 11	Tel. Int. +41 32 847 9550
CH-2022 BEVAIX	Telefax +41 32 847 9569
	e-mail: sales@intersema.ch
SWITZERLAND	http://www.intersema.ch

NOTICE

Intersema reserves the right to make changes to the products contained in this document in order to improve the design or performance and to supply the best possible products. Intersema assumes no responsibility for the use of any circuits shown in this document, conveys no license under any patent or other rights unless otherwise specified in this document, and makes no claim that the circuits are free from patent infringement. Applications for any devices shown in this document are for illustration only and Intersema makes no claim or warranty that such applications will be suitable for the use specified without further testing or modification.