

BALISE DE POSITIONNEMENT SOUTERRAIN

DISTAM

PRINCIPE THEORIQUE
DE LA LOCALISATION
EN UNE SEULE MESURE

PRINCIPE THEORIQUE DE LA LOCALISATION EN UNE SEULE MESURE A L'AIDE DU DISTAM

Sommaire

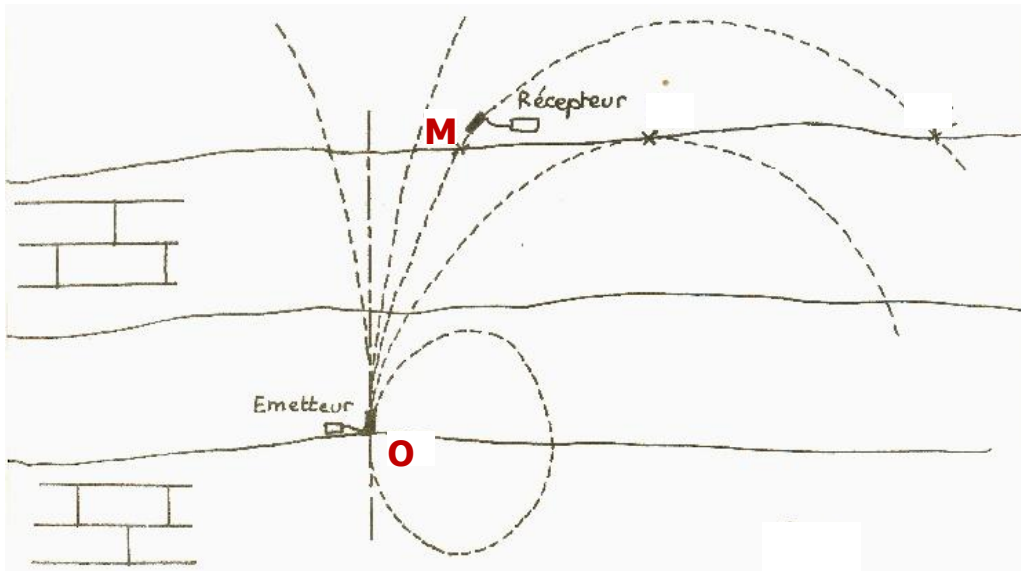
OBJECTIF:.....	2
HYPOTHESE SIMPLIFICATRICE :.....	3
RELATIONS FONDAMENTALES.....	3
METHODE :	4
DETERMINATION DE L'AMPLITUDE DU CHAMP MAGNETIQUE B dans le vide....	4
DETERMINATION DE LA PENTE θ	4
DETERMINATION DE LA DISTANCE D dans le vide	5
CALCUL DU COEFFICIENT CORRECTEUR	5
CALCUL DE LA DISTANCE a travers le calcaire.....	7
METHODE D'ETALONNAGE	7

OBJECTIF:

Il s'agit de déterminer avec le récepteur DISTAM placé à un point M, la position de l'émetteur placé en un point O.

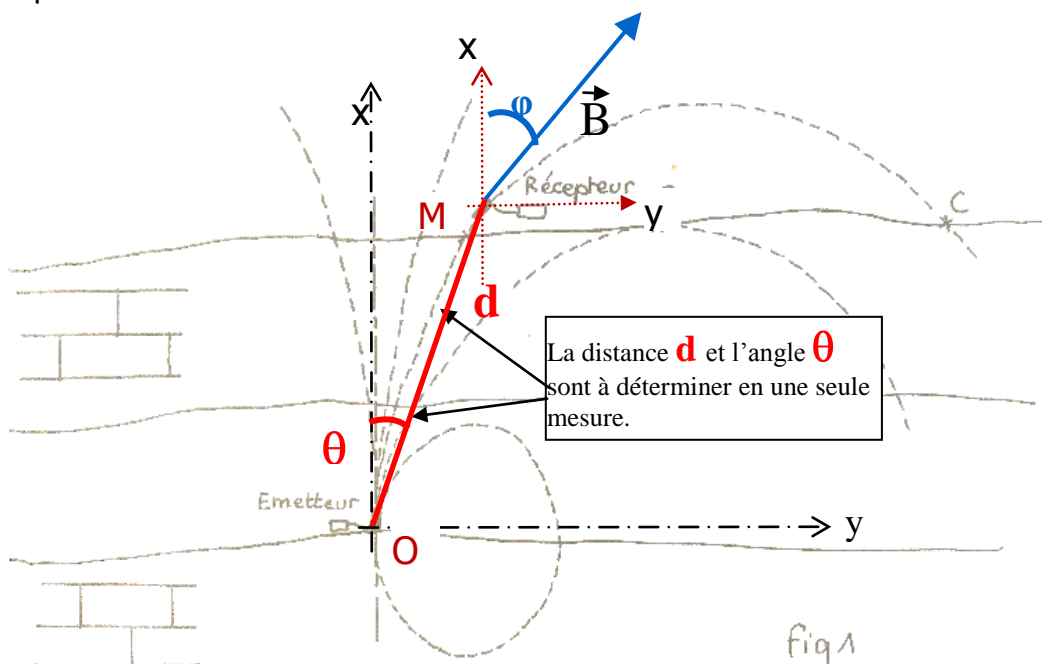
Concrètement, telle une visée topo, il s'agit d'obtenir :

- La direction ou Azimut entre les 2 points
- la distance d entre ces 2 points
- la pente entre ces 2 points.



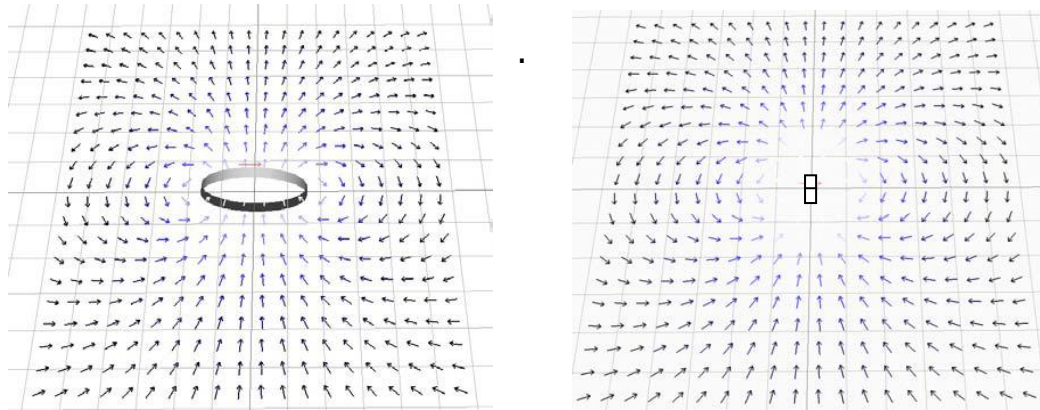
A cette fin le récepteur DISTAM pourra déterminer

- -**la direction** du champ magnétique B au point M, mesurée à l'aide d'un capteur électronique fixé sur la bobine détectrice.
- -**l'inclinaison du champ magnétique** au point M par rapport à la verticale (angle φ) mesurée à l'aide d'un accéléromètre numérique fixé sur la bobine détectrice. L'inclinaison au point étant obtenue quand l'intensité du champ magnétique est maximale.
- -l'intensité maximale du champ magnétique au point M mesurée au voltmètre du récepteur.



HYPOTHESE SIMPLIFICATRICE :

*On se placera dans le cas où le point M est situé à une distance beaucoup plus grande que le rayon de la bobine émettrice. A cette distance la bobine émettrice génère les mêmes lignes de champ magnétique qu'un dipôle magnétique (petit aimant droit). Cette hypothèse conduit à des expressions du champ magnétiques plus épurée, ce qui simplifie les calculs. Ainsi avec une bobine émettrice de 50cm de rayon, un point M à 5m respecte ces conditions



Par ailleurs, on se placera dans le cas où le milieu traversé par les lignes de champ est de l'air.

Dans le calcaire, il n'y aura pas de déformations des lignes de champs, mais une atténuation fonction de la résistivité du terrain et de la fréquence. Aux fréquences de travail choisies, cette atténuation est faible, mais peut générer, pour les mesures longues distances, une légère erreur. Un coefficient correctif qui sera évalué dans une autre étude permettra de corriger cette erreur.

RELATIONS FONDAMENTALES

Les relations théoriques ci-dessous sont établies à partir de l'étude du « champ magnétique créé à grande distance par un dipôle magnétique », qu'on trouvera sur le site wikiversity

https://fr.wikiversity.org/wiki/Champ_magn%C3%A9tique,_magn%C3%A9tostatique/Dip%C3%B4le_magn%C3%A9tique

$B_x = K(d) \cdot (3\cos^2\theta - 1)$ $B_y = K(d) \cdot 3\sin\theta \cdot \cos\theta$ avec $B^2 = B_x^2 + B_y^2$	$K(d) = C_0 / d^3$ avec $C_0 = \mu_0 N \cdot I \cdot R^2 / 4$ N nb de spires de la bobine R rayon de la bobine I courant dans la bobine	<i>Autre forme</i> $K(d) = \mu_0 M / 4\pi d^3$ <i>M : moment magnétique</i> $M = N \cdot I \cdot \pi \cdot R^2$
--	---	--

Ces relations sont valables dans le vide (ou dans l'air), dans le calcaire on appliquera un coefficient de correcteur à la fréquence de travail pour une résistivité moyenne et fonction de la distance.

METHODE :

- Détermination de **B** à partir de la mesure de la tension recueillie aux bornes de la bobine détectrice du récepteur.
- Calcul de la pente θ à partir de la mesure de l'inclinaison φ de la ligne de champ
- Calcul de la distance **d** par le calcul de **K(d)**
- Calculer un coefficient correcteur du fait de la transmission dans le calcaire le calcaire et de la distance
- Recalculer la distance d en tenant compte du coefficient

DETERMINATION DE L'AMPLITUDE DU CHAMP MAGNETIQUE B dans le vide

On se place comme si la propagation s'effectuait dans le vide.

En fait, le récepteur donnera une valeur en Volts proportionnelle à l'intensité du champ magnétique B. On a donc $B = \lambda V$ (λ constante).

Il s'agit de déterminer λ , pour cela on étalonne l'appareil on faisant une mesure dans l'axe Ox vertical de la bobine à une distance d_{1v} .

B_y vaut alors 0 et $B_x = K(d_{1v})(3\cos\theta - 1) = 2K(d_{1v}) = 2C_0 / d_{1v}^3$

On mesure $V = V_1$

Comme $\lambda = B/V$ il vient $\lambda = 2C_0 / V_1 \cdot d_{1v}^3$

Dans la pratique il est plus pratique de mesurer le champ à une distance d_{1h} dans le plan horizontal de la bobine, c'est-à-dire pour $\theta = 90^\circ$ dans ce cas B_y vaut toujours 0 et au signe près $B_x = -C_0 / d_{1h}^3$ donc d'intensité moitié que dans l'axe de la bobine, il vient $\lambda = C_0 / V_1 \cdot d_{1h}^3$

d'où **$B = V \cdot C_0 / V_1 \cdot d_{1h}^3$**

DETERMINATION DE LA PENTE θ

On peut déterminer facilement une relation entre φ et θ

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{B_y}{B_x} \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{3\sin\theta\cos\theta}{3\cos^2\theta - 1}$$

On remarque que cette relation est indépendante de la distance entre l'émetteur et le récepteur.

L'angle φ est mesuré par un inclinomètre fixé sur la bobine détectrice.

On cherche θ et cette équation semble difficile à résoudre algébriquement. Sur l'Arduino, elle s'effectuera par approximations successives.

Soit
$$f(\theta) = \frac{3\sin\theta\cos\theta}{3\cos^2\theta - 1}$$

Exemple d'Algorithme pour $0 < \varphi < 90^\circ$

Début détermination de θ

- $\Delta\theta$ est l'incrément de calcul (exemple $\Delta\theta=0,5^\circ$)
- Lire φ sur l'inclinomètre ;
- Calculer $\text{tg } \varphi$
- $i=0$,
- faire tant que

$$\left| \text{tg } \varphi - f(i \cdot \Delta\theta) \right| < \left| \text{tg } \varphi - f((i+1) \cdot \Delta\theta) \right| \text{ avec } f(\theta) = \frac{3 \sin \theta \cos \theta}{3 \cos^2 \theta - 1}$$

incrémenter i

- $\theta = (i-1) \cdot \Delta\theta$;

Retourner la valeur θ

DETERMINATION DE LA DISTANCE D dans le vide

On se place comme si la propagation s'effectuait dans le vide.

Une fois θ déterminée on peut déterminer la distance à partir de la mesure de l'intensité du champ magnétique B.

On part de $B_x = K(d) \cdot (3 \cos^2 \theta - 1)$ et $B_x = B \cos \varphi$ avec $K(d) = C_0 / d^3$
il vient $d^3 = C_0 (3 \cos^2 \theta - 1) / B \cos \varphi$
or $B = \lambda V$ soit $B = (2 C_0 / V_1 \cdot d_{1v}^3) \cdot V$

On en déduit que $d^3 = d_{1v}^3 \cdot (3 \cos^2 \theta - 1) V_1 / (2 V \cdot \cos \varphi)$
Ou bien en fonction de d_{1h}

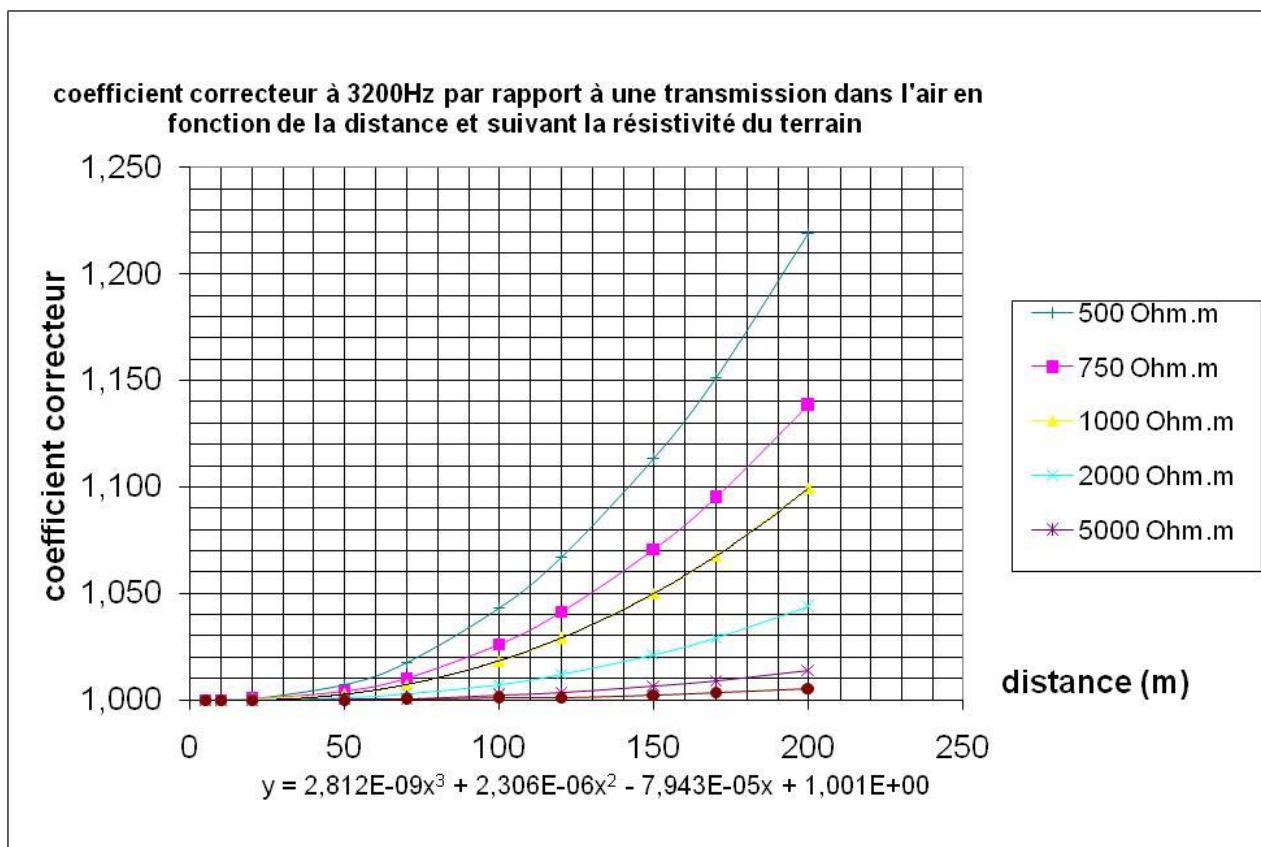
$$d^3 = d_{1h}^3 \cdot (3 \cos^2 \theta - 1) V_1 / (V \cdot \cos \varphi) \text{ d'où}$$
$$d = d_{1h} \left((3 \cos^2 \theta - 1) V_1 / (V \cdot \cos \varphi) \right)^{1/3}$$

CALCUL DU COEFFICIENT CORRECTEUR

Pour une émission d'un champ magnétique à la fréquence de travail de 3200hz donnée, on a calculé le rapport des amplitudes aux bornes du cadre récepteur dans le vide par rapport aux amplitudes à travers le calcaire pour différentes résistivités.

On a considéré des résistivités allant de $500 \Omega \cdot m$ pour des calcaires argileux à $5000 \Omega \cdot m$ pour des calcaires compacts.

On retrouvera l'étude ayant conduit à ces courbes dans la partie THOERIE de la page web.



On remarque que :

- l'écart relatif augmente beaucoup avec la distance.
- qu'en dessous de 100m, l'écart reste faible et ne dépasse pas 4%. Ceci signifie que le calcul de la distance effectué comme si on était dans le vide peut être utilisé pour la détermination de ce coefficient.

L'étude montre que si on travaille au voisinage de 1000Hz, cet écart relatif devient beaucoup plus faible, voir négligeable en dessous de 100m. Nous avons quand même gardé la fréquence de travail à 3200Hz, pour des raisons de compatibilités avec le récepteur ARCAS.

Comme on ne connaît pas la résistivité du calcaire à l'endroit où on effectue la mesure, on se placera dans le cas d'une résistivité moyenne de 1000Ω.m. Pour une distance inférieure à 100m, l'écart entre cette courbe à 1000Ω.m et les courbes 500 et 5000 Ω.m ne dépassera pas 2%.

Comme le champ magnétique décroît de façon inversement proportionnelle au cube de la distance, une erreur de 2% sur le champ magnétique se traduira par une erreur de $2/3=0,66\%$ sur la distance, ce qui est tout à fait acceptable.

Avec excel, on a approximé la courbe à 1000Ω.m par une courbe tendance d'équation suivante :

à 3200Hz, coef = $2,812E-09d^3 + 2,306E-06d^2 - 7,943E-05d + 1,001$

CALCUL DE LA DISTANCE a travers le calcaire

On tient compte de l'affaiblissement de la propagation due au calcaire.

il faudra alors ré-appliquer la relation en multipliant V par le coefficient coeff

$$d = d_{1h} ((3\cos^2\theta - 1) V_1 / (V \cdot \text{coef} \cdot \cos\phi))^{1/3}$$

Dans la pratique coeff commencera un peu à jouer à partir de 50m.

METHODE D'ETALONNAGE

Il se fera à une distance convenue de (exemple 10m) donc dans la formule traité par l'arduino d_{1h}^3 sera donc définitivement fixé à $10^3 = 1000$.

Une commande d'étalonnage à l'aide d'un bouton poussoir permettra de mémoriser la valeur de $V = V_1$ mesurée par l'appareil et sera ensuite systématiquement utilisée pour le calcul de la distance d.

L'avantage de cette méthode est de s'affranchir des caractéristiques des bobines. La seule condition est que le courant traversant la bobine émettrice reste identique entre l'étalonnage et la mesure. La tension d'alimentation de la bobine émettrice doit donc rester constante.