

# Le réseau des stations de répétition magnétique de la France

## Historique

Les stations de répétition magnétique sont des sites occupés temporairement où on effectue périodiquement une mesure de l'intensité et de la direction du champ magnétique terrestre. On emploie aussi le terme de réseaux de répétition.

L'établissement de ces réseaux en France dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle visait un double objectif : la cartographie de la distribution spatiale du champ magnétique - essentiellement due aux propriétés magnétiques de la croûte terrestre – puis les variations dans le temps de l'intensité et de la direction de ce champ, liées à des changements sur de très longues périodes du fonctionnement de la géodynamo. La recherche d'une meilleure résolution spatiale conduira à effectuer des mesures dans 1328 stations entre 1921 et 1927, chaque station correspondant en moyenne à un carré de 20 km de côté. Considérant alors que la résolution spatiale maximale a été atteinte, le nombre de stations va diminuer puisque l'objectif n'est plus que de suivre l'évolution de la variation séculaire.

Cette cartographie magnétique sera considérablement améliorée lors du levé magnétique général de la France et du plateau continental réalisé sous la direction de l'institut de physique du Globe. Les vols ont été effectués en 1964 -1965, à 3000 m d'altitude sur la France continentale, excepté les Alpes pour lesquelles l'altitude était de 5000 m, avec des lignes de vol espacées de 10 km recoupées par des traverses distantes de 100 km (Le Borgne, Le Mouel, 1966). Bien que des levés régionaux à plus haute résolution aient été entrepris depuis 1998, la carte issue du levé de 1964 est la seule utilisable à l'échelle de l'ensemble du territoire métropolitain.

Si la distribution spatiale des anomalies magnétiques peut être considérée comme un invariant géophysique pour des échelles de temps humaines, les cartes d'iso-intensité, de déclinaison et d'inclinaison doivent être régulièrement mise à jour. Cette mise à jour s'est faite jusqu'en 2007, en réoccupant tous les 5 ans un réseau de 31 stations, établies entre 1947 et 1977.

## Le nouveau réseau de répétition magnétique.

Ce réseau devenait de plus en plus difficile à réitérer pour les raisons suivantes :

- Stations le plus souvent implantées dans des terrains privés sans convention formelle d'utilisation.
- Repères d'azimuts distants de plusieurs kilomètres comme des clochers, des antennes de télécommunications, des détails remarquables du paysage, qui nécessitent d'opérer de jour avec de bonnes conditions météorologiques.
- La croissance de la végétation ou l'édification de constructions rendent les visées difficiles voire impossibles. Des modifications des structures utilisées comme repère induisent des erreurs d'azimut.
- L'environnement de la station n'est pas protégé. Certaines stations deviennent inexploitable du fait de constructions à proximité.
- Le moment où s'effectue l'observation est le plus souvent imposé par les conditions météorologiques et ne correspond pas toujours à une période de champ magnétique calme ce qui entraîne une imprécision des mesures.

Il est décidé pour la campagne de 2012 d'implanter un nouveau réseau de répétition magnétique avec un double objectif : Opérer un nombre plus réduit de stations dans des sites pérennes.

Des travaux de modélisation ont montré qu'il est possible de suivre la variation séculaire avec une précision d'environ 1nT/an sur la France métropolitaine et la Corse avec seulement un observatoire et 11 stations également distribuées.

Afin d'assurer la pérennité des stations il a été décidé de les implanter dans des aéroports. Tous les aérodromes sélectionnés sont de catégorie B ou C et une éventuelle fermeture ferait l'objet d'un préavis suffisant.

Utilisateurs de valeurs de déclinaison magnétique actualisées, La Direction générale de l'Aviation civile (DGAC) et plus particulièrement le Service technique de la navigation civile (STNA) ainsi que les opérateurs des plateformes aéroportuaires ont apporté leur soutien à cette opération.

Au cours de l'été 2012, 11 stations ont été implantées et des séries de mesures effectuées sur les aéroports suivants :

Code IATA	Code OACI	Nom	WGS84		
			Latitude	Longitude	Altitude
BIQ	LFBZ	Biarritz - Bayonne - Anglet	43,46848	358,48116	74,6
BVE	LFSL	Brive - Vallée de la Dordogne	45,03841	1,48960	310,0
CEQ	LFMD	Cannes - Mandelieu	43,55002	6,95132	4,3
CFR	LFRK	Caen - Carpiquet	49,17612	359,55569	78,0
EDM	LFRI	La Roche sur Yon - Les Ajoncs	46,69979	358,61651	90,5
ENC	LFSN	Nancy - Essay	48,68663	6,22691	229,0
FSC	LFKF	Figari - Sud Corse	41,49718	9,08992	26,5
LYN	LFLY	Lyon - Bron	45,72500	4,94483	201,0
MXN	LFRU	Morlaix - Plougean	48,60846	356,19068	84,4
PGF	LFMP	Perpignan - Rivesaltes	42,74280	2,87124	44,0
XVS	LFAV	Valenciennes - Denain	50,32431	3,46435	50,3

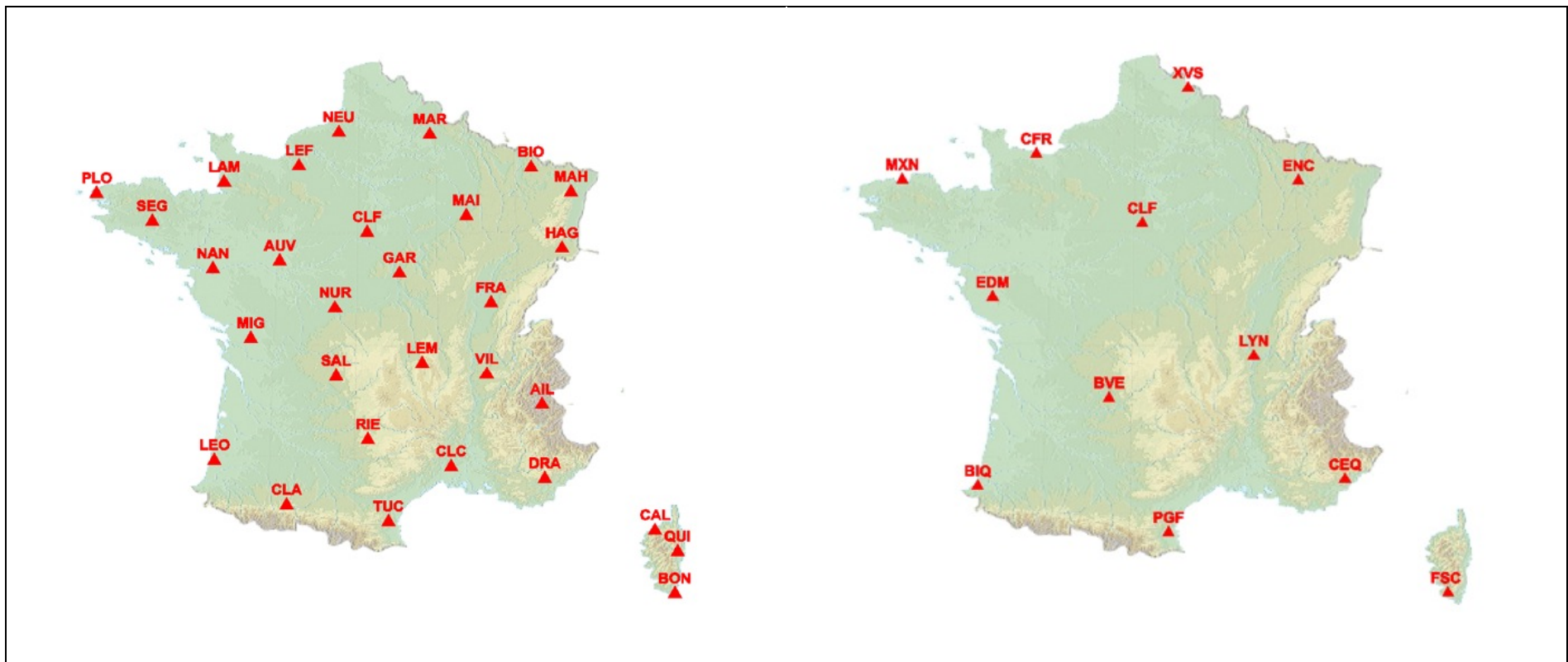
Les pistes d'aérodromes se sont avérées des sites particulièrement favorables car :

- Le procédé de construction (remblais grave-ciment et béton bitumineux) fait appel à des matériaux non magnétiques.
- Les installations potentiellement magnétiques sont à une distance suffisante de l'axe de piste pour ne pas perturber les mesures.
- Le repère d'azimut est également implanté sur la piste à une distance de 400 m du repère de mesure. La ligne de visée est toujours visible.
- Du fait de l'absence d'obstacles près de la piste, la détermination de l'azimut de référence en utilisant le GNSS atteint une précision de 2 secondes d'arc, soit un ordre de grandeur par rapport meilleur qu'une visée astronomique.

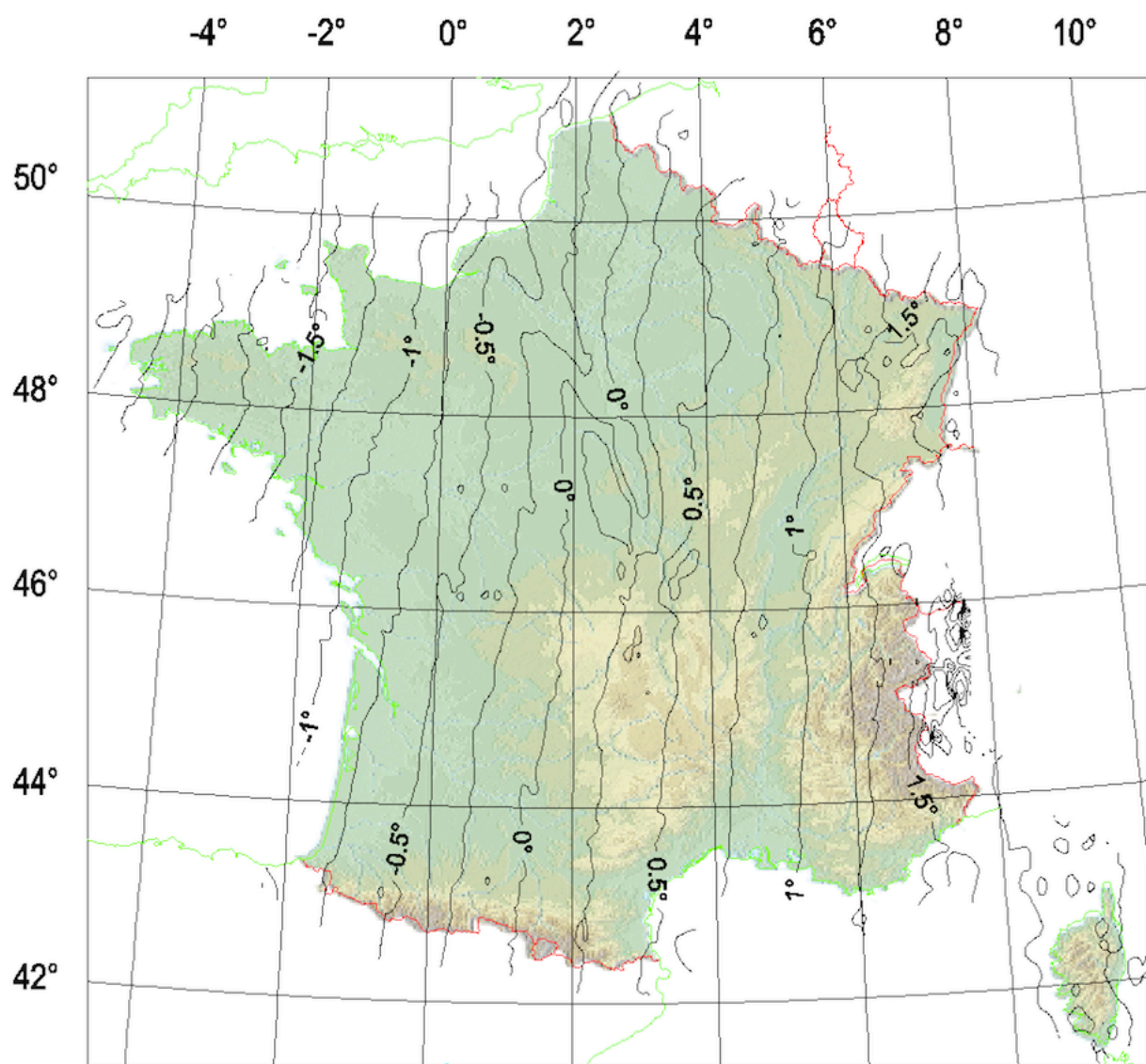
Une autre innovation importante est le fait de travailler de nuit. Ceci est rendu possible car la cible du repère d'azimut distante de 400m peut être éclairée facilement. Outre le fait d'être compatible avec l'activité des aérodromes sélectionnés qui n'ont plus d'opérations régulières entre 22:30 et 06:00, le travail de nuit améliore la qualité des mesures géodésiques (pas d'effets thermiques sur le théodolite et son trépied, pas de turbulences thermiques de l'air, absence d'effets thermiques sur les électroniques) et magnétiques (interactions Terre-Soleil minimales)

L'implantation du réseau de répétition magnétique sur des aéroports présente cependant des contraintes:

- Les opérations doivent être planifiées avec les exploitants des plateformes suffisamment en avance.
- Les aérodromes devant émettre à l'avance un NOTAM pour signaler que la piste est fermée, en cas de mauvaises conditions météorologiques les opérations de mesures ne peuvent pas être reportées au jour suivant.
- Les opérations de mesure peuvent être interrompues en cas d'évacuation sanitaire ou d'atterrissage de détresse.
- Pour des raisons de sûreté et de sécurité les opérations sur une plateforme aéroportuaire doivent se conformer à des règles strictes.



Le réseau de répétition magnétique de la France en 2007 (à gauche) et celui de 2012 (à droite)



Carte d'égal déclinaison magnétique au 1<sup>er</sup> juillet 2013 pour la France métropolitaine et la Corse

## Résultats des campagnes de mesure de 2012 et 2013 pour la mesure de déclinaison magnétique

Le tableau ci-dessous synthétise les observations effectuées en 2012 et 2013 et compare les valeurs observées à celles calculées au 1er juillet de l'année correspondante en utilisant le modèle WMM de la National Oceanic and Atmospheric Administration (USA).

Code IATA	Code OACI	Nom	2012,5		Ecart	2013,5		Ecart
			D observé	D WMM		D Observé	D WMM	
BIQ	LFBZ	Biarritz - Bayonne - Anglet	-0,9178	-0,9939	0,0761	-0,7738	-0,86461	0,0908
BVE	LFSL	Brive - Vallée de la Dordogne	-0,1757	-0,2256	0,0498	-0,0245	-0,08255	0,0580
CEQ	LFMD	Cannes - Mandelieu	1,0929	1,2711	-0,1782	1,2301	1,36983	-0,1397
CFR	LFRK	Caen - Carpiquet	-1,1620	-1,1683	0,0064	-0,9961	-1,03262	0,0365
EDM	LFRI	La Roche sur Yon - Les Ajoncs	-1,1945	-1,2214	0,0269	-1,0410	-1,0776	0,0366
ENC	LFSN	Nancy - Essay	1,0308	0,9308	0,0999	1,1751	1,04972	0,1254
FSC	LFKF	Figari - Sud Corse	1,9551	1,7339	0,2212	2,0752	1,8257	0,2495
LYN	LFLY	Lyon - Bron	0,7572	0,7164	0,0408	0,8952	0,82267	0,0725
MXN	LFRU	Morlaix - Plougean	-2,2661	-2,2531	-0,0130	-2,0838	-2,11195	0,0282
PGF	LFMP	Perpignan - Rivesaltes	0,3736	0,2750	0,0986	0,5226	0,39798	0,1246
XVS	LFAV	Valenciennes - Denain	0,1122	-0,0072	0,1194	0,2787	0,12013	0,1586

On constate que l'écart entre la valeur observée et la valeur calculée est toujours inférieur à 0,2°.

## Modélisation

A partir de ces observations nous avons élaboré un modèle 1D et comparé l'intensité du champ magnétique terrestre observée aux stations avec les valeurs obtenues en utilisant modèle IGRF et le modèle IPGP 1D. (Les composantes sont celles utilisées dans un système de coordonnées sphériques).

Modèle	Composante	Moyenne des écarts (nT)	Ecart type (nT)
IGRF	$\rho$	-8,37	7,56
IGRF	$\theta$	-1,47	2,34
IGRF	$\phi$	10,27	3,29
IPGP 1D	$\rho$	0,55	5,42
IPGP 1D	$\theta$	0,06	1,99
IPGP 1D	$\phi$	0,02	2,57

Le tableau ci-dessus montre que l'écart type est plus faible en utilisant le modèle IPGP 1D au lieu de l'IGRF.

## Conclusion

Les observations effectuées sur les aérodromes permettent de valider les données obtenues par le modèle WMM mais qu'un modèle spécifique à la France continentale utilisant les observations du réseau de répétition des stations magnétiques, de l'Observatoire magnétique National de Chambon-la-Forêt et des données satellitaires améliorerait la précision de ces valeurs de déclinaison.