

ENIGMA V

Caractéristiques techniques



Numériseur de fréquence intermédiaire (IFD)	
Entrées du récepteur	6 canaux (2×H, 2×V, 2×référence)
Canaux internes	6×16 bits (2×H, 2×V, 2×burst)
Sorties DAC	2 sorties I/Q pour la génération avancée de formes d'onde
Fréquence	60 MHz (autres en option)
Plage dynamique	>110 dB @ largeur d'impulsion de 2 µs
Consommation	<50 W (100–230 V, 50/60 Hz)
Boîtier	Version compacte facilement intégrable ou montage standard en rack 19"

Hôte (ENIGMA PC)	
Résolution de base typique	25–125 m
Résolution max. par bin	10 m
Portée	jusqu'à 400 km
PRF (fréquence de répétition des impulsions)	10–3000 Hz
Nombre de largeurs d'impulsion	4 avec filtres adaptés configurables indépendamment (jusq'à 1280 taps)
Modes PRF doubles	Aucun, 2/3, 3/4, 4/5, et plus
Modes de traitement	PPP (pulse pair processing), FFT, DFT, PRT décalé
Connexion à l'IFD	Fibre optique, 10 Gbit/s
Consommation	<150 W (100–230 V, 50/60 Hz)
Boîtier	Rack standard 19" (3 ou 4 unités rack), profondeur 420 mm ou sur mesure

Algorithmes de qualité des données	
Atténuation	Correction de l'atténuation due à la pluie et aux gaz
Normalisation de la portée	Normalisation de la portée 1/r ²
Configurable suppression speckle	Réflexivité (2D), vitesse, largeur du spectre, double moment de polarisation
Seuil configurable	NOISE, CCOR, SIGPOW, RHOHV, SQI
Suppression multi-trajets	Deuxième trajet / troisième trajet
Suppression interférences	Interférences RF
Interpolation KDP	Configurable (Gauss., B-spline, 0.125–5km)

Autres caractéristiques et spécifications	
Moyenne temporelle	Échantillons temporels réglables (16–1024) ou synchronisation dynamique de l'angle, échantillonnage temporel fixe avec 2048 ou 4096 échantillons
Suppr. secteur	16 secteurs azimut/élévation configurables (résolution de 0,05°)
Enregistrement I/Q	Impulsions, format IEEE 32 bits à virgule flottante sur disque dur interne
Configuration	Compatible avec le réseau Frog-Muran Interface graphique, telnet ou serveur HTTP intégré
Sortie d'état	ASCII BITE et messages de journalisation via le port telnet, interface serveur HTTP
Informations d'état	- Hôte (charge et température du CPU, mémoire, tension) - IFD (alimentation, températures) - État du convertisseur A/N - AFC (contrôle automatique de fréquence) - Suppression de secteur - Nombre d'impulsions pour l'autocorrélation
Matched filter designer	Application GUI pour le calcul semi-automatique du filtre adapté (pour impulsion émettrice) et vérification
AAFC	Configuration et visualisation complètes de l'AAFC (contrôle automatique adaptatif de la fréquence)

Types de données de sortie	
8 bit integer	Typique pour les données de base ne nécessitant pas une résolution élevée
16 bit integer	Utile pour les moments où une très haute résolution est nécessaire, par exemple PHIDP
32 bit float	Plage dynamique maximale, nécessaire pour l'analyse des données brutes, par exemple DFT

Données de sortie / moments	
Réflexivité	
Z	Réflexivité radar
UZ	Réflexivité radar (non filtrée)
AZh	Réflexivité horizontale corrigée en fonction de l'atténuation
Vitesse Doppler	
V	Vitesse radiale
UnV	Vitesse radiale (non filtrée)
VF	Vitesse radiale pliée
UVF	Vitesse radiale pliée (non filtrée)
W	Largeur spectrale
UW	Largeur spectrale (non filtrée)
CW	Largeur spectrale (corrigée pour le mouvement de l'antenne)

Double polarisation	
ZDR	Réflexivité différentielle
UZDR	Réflexivité différentielle (non filtrée)
AZDR	Réflexivité différentielle corrigée en atténuation
ZDR1	Réflexivité différentielle calculée à partir de LAG1
UZDR1	Réflexivité différentielle calculée à partir de LAG1 (non filtrée)
AZDR1	Réflexivité diff. corrigée de l'atténuation calculée à partir de LAG1
PHIDP	Phase différentielle
UPHIDP	Phase différentielle (non filtrée)
PHIH	Phase différentielle pour transmission H (mode LDR)
UPHIH	Phase différentielle pour transmission H (mode LDR) (non filtrée)
KDP	Phase différentielle spécifique
RHOHV	Coefficient de corrélation croisée
URHOHV	Coefficient de corrélation croisée (non filtrée)
RHOH	Coefficient de corr. croisée pour transmission H (mode LDR)
URHOH	Coeff. de corr. croisée pour transm. H (mode LDR) (non filtrée)
LDR	Rapport de dépolarisation linéaire
ULDR	Rapport de dépolarisation linéaire (non filtrée)

Analyse du signal	
SQI	Indice de qualité du signal
CCOR	Taux de correction des parasites
I	Signal en phase
Q	Signal en quadrature
LOG	Puissance logarithmique
SIGPOW	Puissance du signal
SNR	Rapport signal/bruit
CMAP	Carte de censure (indicateurs pour le seuillage)
DFT	Spectre Doppler

Analyse avancée	
CPA	Alignement de phase des parasites
STD	Écart type normalisé
SQI2	Indice de qualité du signal du deuxième trajet
SQI3	Indice de qualité du signal du troisième trajet
CLASS	Indicateurs de classification (CLUTTER INTERFERENCE, WTC, SECOND_TRIP, THIRD_TRIP)
NCP	Puissance non cohérente (estimation en temps réel de la puissance du bruit)
CR	Rapport encombrement/signal
DR	Rapport de dépolarisation (uniquement pour les radars avec déphaseur)
UDR	Rapport de dépolarisation (uniquement pour les radars avec déphaseur) (non filtrée)
CSRE	Spectre croisé (partie réelle)
CSIM	Spectre croisé (partie imaginaire)
CSMAG	Spectre croisé (amplitude)
SZ	Sigma Z, variation impulsion par impulsion de la réflexivité

GAMIC processeur de signal radar météorologique

ENIGMA V

PLUS DE FONCTIONS
EFFICACITÉ AMÉLIORÉE
CONCEPTION MATÉRIELLE FLEXIBLE



Récepteur numérique et processeur de signaux pour des données radar améliorées

ENIGMA V est la dernière génération du processeur de signaux radar météorologique populaire et avancé pour polarisation simple et double développé par GAMIC. Il se compose d'un hôte (PC ENIGMA) et d'un IFD (numériseur à fréquence intermédiaire) entièrement repensé. L'IFD convertit la sortie de votre radar en un signal numérique stable et de haute qualité, tandis que l'hôte fournit des données de sortie propres en appliquant des algorithmes et des corrections puissants.

LA NOUVELLE GÉNÉRATION DE TRAITEMENT DU SIGNAL

Le processeur de signal ENIGMA V est adapté aux radars à magnétron, klystron ou à semi-conducteurs. Dans le cas des radars cohérents en réception, l'IFD est capable de mesurer la fréquence IF et d'appliquer un contrôle automatique adaptatif de la fréquence (AAFC) pour une réception correcte. Un filtre adapté à fenêtre glissante réduit au minimum l'activité de contrôle STALO, ce qui permet une meilleure estimation des moments physiques cohérents.

ENIGMA V est le partenaire idéal des radars météorologiques à semi-conducteurs. Grâce à sa puissance de traitement considérable et à sa génération de formes d'onde améliorée, ENIGMA V peut effectuer une compression d'impulsions avec un codage/décodage de signaux beaucoup plus complexe et des schémas d'impulsions à semi-conducteurs. La compression d'impulsions est une technique radar qui combine les avantages des impulsions longues et courtes. ENIGMA V utilise la technique NLFM (modulation de fréquence non linéaire) afin de réduire les niveaux des lobes latéraux et d'améliorer la résolution en distance. Ceci est essentiel pour les systèmes de radars météorologiques en raison de leur exigence en matière de plage dynamique élevée. De plus, un schéma d'impulsions à diversité de fréquences est mis en œuvre afin d'éviter la contamination des échos des différentes sous-impulsions. ENIGMA V dispose de quatre générateurs de formes d'onde réelles ou deux générateurs de formes d'onde complexes librement programmables (jusqu'à une fréquence d'échantillonnage de 900 MHz), permettant d'obtenir une forme d'onde optimale afin d'améliorer la suppression des échos parasites au sol et la détection météorologique tout en réduisant les fausses détections d'échos météorologiques.

TIRER LE MEILLEUR PARTI DE TOUT RADAR MÉTÉO

L'IFD V contrôle la synchronisation de transmission du radar connecté en appliquant des signaux de déclenchement et en acquérant les données en conséquence. Il est équipé de six canaux d'entrée : deux horizontaux, deux verticaux et deux rafales (signal de transmission / référence) qui permettent un double polarisation complète. Le signal IF est numérisé à une fréquence intermédiaire de 60 MHz (autres fréquences en option) et les données d'écho radar sont étiquetées avec les informations correspondantes de temps et d'angle d'élévation/azimut. Pour une sensibilité et une plage dynamique optimales, un filtre numérique parfaitement adapté à la longueur d'impulsion émise est utilisé.

Les données brutes générées par l'écho sont transmises à l'ordinateur hôte via une connexion fibre optique de 10 Gbit/s pour un traitement ultérieur. La maintenance et le contrôle sont améliorés grâce à des informations BITE encore plus complètes (surveillance des signaux d'entrée, des valeurs de température, de la tension d'alimentation, etc.), accessibles à distance et via une connexion USB ou un port Ethernet 1 Gbit/s.

FORMAT COMPACT ET MONTAGE EN RACK AMÉLIORÉ

Le processeur de signal ENIGMA V bénéficie d'une refonte complète de son matériel. Le nouveau IFD V est disponible en version facilement intégrable et flexible (par exemple pour les installations sur tête) ou en version rackable 19" améliorée et plus courte, avec une consommation électrique très faible (<50 W) et se concentrent sur l'optimisation de la fiabilité, notamment le refroidissement, l'utilisation de condensateurs électrolytiques à polymère conducteur, la protection contre les décharges électrostatiques et le filtrage des distorsions de tension d'alimentation.

Caractéristiques

- » Processeur de signaux radar météorologique pour un balayage et une analyse rapides, avec une qualité et une précision scientifiques
- » Compatible avec les radars magnétron, klystron et à semi-conducteurs
- » Processeur-récepteur Doppler numérique avec compression d'impulsions
- » Correction et atténuation puissantes des échos parasites, des interférences, des échos multiples et bien plus encore
- » Données de sortie complètes

Détails techniques

- » Numériseur de fréquence intermédiaire (IFD) et hôte (PC ENIGMA)
- » Fréquence IF de 60 MHz (autres fréquences en option)
- » Deux sorties DAC I/Q pour la génération avancée de formes d'onde à compression d'impulsions
- » Plage dynamique typique : >110 dB
- » Résolution de base typique : 25–125 m
- » Portée : 10–400 km
- » PRF : 10–3000 Hz
- » Jusqu'à 8 000 bins de portée
- » Hôte avec montage en rack standard
- » IFD en option avec montage en rack



Vue avant et arrière du rack IFD V



IFD V pour une intégration fluide

GAMIC GmbH
Roermonder Str. 151
52072 Aix-la-Chapelle, Allemagne



www.gamic.com
info@gamic.com
+49 241 889110



TÉLÉCHARGEZ:

CONTEXTE

Les données radar météorologiques ne devraient idéalement contenir que des informations météorologiques, mais elles sont **affectées par de nombreuses influences indésirables**, notamment :

-  Bruit
-  Parasites fixes
-  Échos multi-trajet
-  Interférences radioélectriques (RF)
-  Parasites dues aux éoliennes (WTC)

Certaines peuvent être atténuées à l'aide d'algorithmes simples (par exemple, les échos parasites fixes), d'autres **nécessitent des approches plus sophistiquées** (échos multi-trajets, RF, WTC).

Le processeur de signaux ENIGMA de GAMIC intègre toutes les fonctionnalités de traitement des signaux, les moments et les types de données présentés ici.

TRAITEMENT DE SIGNAL DE BASE

Seuil de bruit :
Suppression des données inférieures au seuil de bruit.

Filtre de speckle :

Suppression des bins de données isolés sans voisins et comblement des petits espaces vides par interpolation des bins environnants.

Filtre des parasites (stationnaire) :

Les spectres d'impulsions sont filtrés pour éliminer les pics de vitesse nulle (indicateurs des parasites stationnaire).

ALGORITHMES DE TRAITEMENT ET DE CORRECTION AVANCÉS

Le traitement numérique de la vitesse Doppler permet d'obtenir des **données de vitesse plus précises et une meilleure atténuation des échos parasites**. Les filtres d'échos parasites basés sur la vitesse offrent une réjection des échos parasites supérieure à 50 dB, ce qui réduit les échos parasites au sol. La **correction de l'atténuation due à la pluie et au gaz** basée sur la double polarisation est indispensable pour obtenir des mesures fiables de l'intensité des précipitations, en particulier pour les radars sensibles en bande X. D'autres fonctionnalités d'amélioration des données comprennent la **suppression des échos multiples et des interférences RF** (voir les encadrés correspondants).

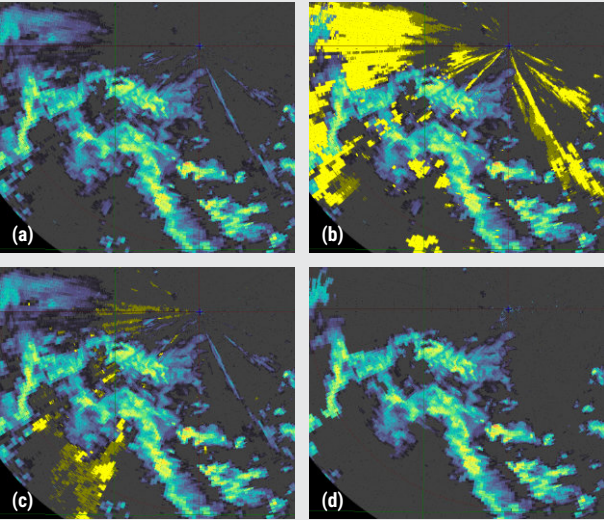
ENIGMA V est hautement configurable et comprend notamment un sup-
presseur de speckle (via la réflectivité, la vitesse, la largeur du spectre ou le moment de polarisation double), un seuillage (NOISE, CCOR, SIGPOW, RHOHV, SQI) et une interpolation KDP. Les algorithmes logiciels ENIGMA suivants garantissent une qualité optimale des données et réduisent les per-
turbations :

- » **Classification par logique floue et signalisation** des portes de distance pour les échos parasites au sol, les échos multiples et les interférences RF
- » **Détection et atténuation améliorées des échos multi-trajets** à phase aléatoire
- » **Filtrage adaptatif des échos parasites**
- » **Moments de sortie supplémentaires** (alignement de phase des parasites, écart type, SQI, 2e/3e trajet, indicateurs de classification, spectre croisé réel et complexe)
- » **Amélioration du seuillage**, y compris les nouveaux indicateurs de classification
- » **Algorithme de détection des parasites éoliens** (voir encadré WTC)
- » **Algorithme d'atténuation des interférences RF pulsées** (voir encadré RF)

ÉCHOS MULTI-TRAJETS

Les échos provenant d'une distance **supérieure à la portée maximale sans ambiguïté** sont ambigus et appelés échos multitrajets. Les échos multitrajets peuvent être détectés par un **radar cohérent** (cohérent en réception ou entièrement cohérent).

- » Exigence : **la phase émise est codée et varie** d'une impulsion à l'autre (magnétron : phase aléatoire inhérente à l'impulsion émise ; semi-conducteur : phase aléatoire ou codage SZ64).
- » Grâce à la connaissance de la phase de chaque impulsion émise, toute impulsion reçue peut être **associée** à des transmissions précédentes (multi-trajets).
- » Les échos multi-trajets détectés peuvent être **signalés et classés**.
- » Les échos multiples peuvent être **filtrés** en supprimant les valeurs cohérentes correspondantes des données chronologiques.



Données de réflectivité avec échos multiples (a), marqués pour le deuxième trajet (b), marqués pour le troisième trajet (c) et filtrés (d).

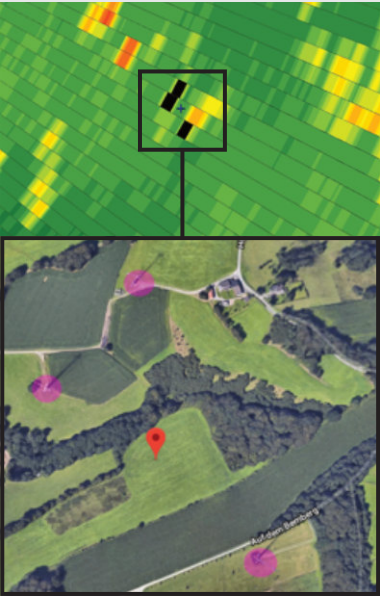
ÉCHOS PARASITES DE TURBINES ÉOLIENNES (WTC)

Chaque jour, de nouvelles éoliennes sont installées dans le champ de vision des systèmes radar. L'évaluation des données radar météorologiques pose un problème croissant en raison des échos parasites dynamiques générés par les éoliennes.

Pour remédier à ce problème, **ENIGMA V intègre un algorithme de détection WTC en temps réel**. Les images d'exemple à droite montrent les éoliennes détectées sous forme de pixels noirs, tandis que leur emplacement d'origine est marqué en violet sur l'image satellite correspondante. L'algorithme de détection WTC de GAMIC est **utilisé de manière opérationnelle par un important service météorologique national**.

Les éoliennes en activité **génèrent des interférences plus complexes** que les cibles fixes. La vitesse tangentielle des pales en rotation provoque une **augmentation de fond du bruit** dans le spectre Doppler.

- » Les éoliennes sont visibles sous forme de points dans l'estimation du bruit **NCP (puissance non cohérente)**.
- » Les cibles fixes importantes (par exemple, les lignes électriques, les tours) provoquent également des pics dans la NCP (en raison du bruit de phase).
- » Différenciation avec le moment **CR (rapport des échos parasites)** (faible pour les WTC, élevé pour les cibles fixes importantes).
- » Identification et signalisation des bins comme échos parasites provenant des éoliennes aux **pics locaux et sur leurs flancs**.
- » Facultatif : stabilisation des détections à l'aide d'une **carte de confiance, seuillage** des détections.

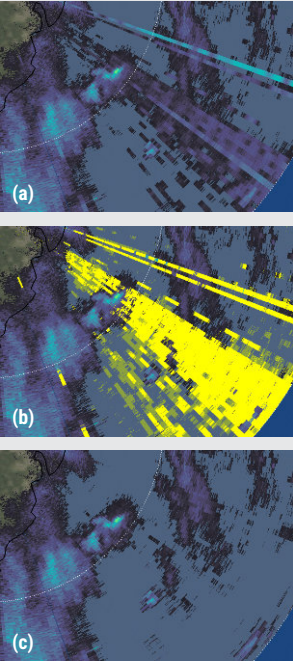


Bins marqués WTC (en haut) et éoliennes correspondantes sur l'image satellite (en bas).

INTEFÉRENCES DE RADIOFRÉQUENCES (RF)

Les signaux d'interférences radiofréquences (RF) (Wi-Fi, autres radars, etc.) se produisent surtout dans les **zones densément peuplées**. Ces signaux contaminent les données des radars météorologiques, mais peuvent être détectés en temps réel.

- » Les interférences pulsées ne sont pas corrélées à la fréquence de répétition des impulsions du système radar.
- » Une signature d'interférence RF distincte est **détectée en temps réel dans les données chronologiques**.
- » Une signature caractéristique d'interférence RF est détectée en temps réel dans **les données de séries temporelles**.
- » Les compartiments contaminés par des interférences RF sont **signalés** (peuvent être utilisés pour le filtrage).
- » Un algorithme avancé d'atténuation des interférences supprime la contamination des données I/Q brutes.Cela permet de **recupérer tous les moments radar** même en présence d'interférences RF pulsées fortes.



Données de réflectivité avec interférence RF (a), interférence RF signalée (b) et corrigée (c).

MOMENTS DE SORTIE COMPLETS

Outre les moments radar typiques à polarisation unique (réflectivité (Z), vitesse radiale (V) et largeur spectrale (W)), ENIGMA V **fournit des moments à double polarisation améliorés**, essentiels pour tout traitement contemporain et toute utilisation ultérieure des données radar météorologiques. Les moments fournis comprennent ZDR, KDP, RHOHV, PHIDP et bien d'autres encore. Tous les moments radar sont fournis filtrés et non filtrés.

Pour une **analyse complète de la qualité des données et des signaux**, ENIGMA V fournit des variables de sortie telles que le rapport signal/bruit (SNR), l'indice de qualité du signal (SQI), la puissance des parasites (CCOR), le spectre de puissance (DFT), etc.

Voir au verso pour une liste complète des données de sortie ENIGMA V.