

Cette page présente des exemples d'images PPI par **temps clair** provenant d'un **GMWR-1000-SST** (radar météorologique en bande X SSPA de GAMIC).

COMPRESSION  
D'IMPULSION  
TRADITIONNELLE

Sur la partie gauche, la **compression d'impulsion traditionnelle (hybride)** a été appliquée (voir la page intérieure gauche pour plus de détails).

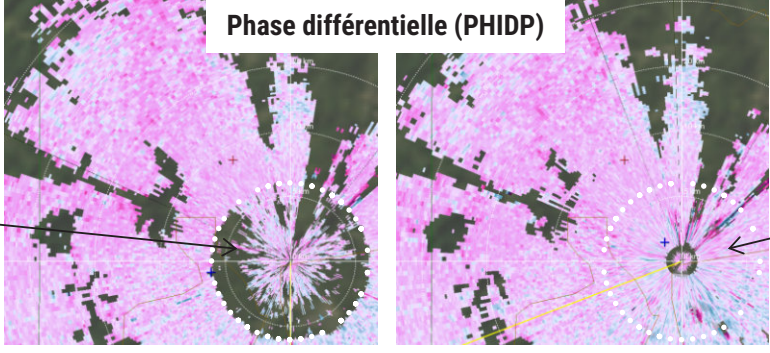
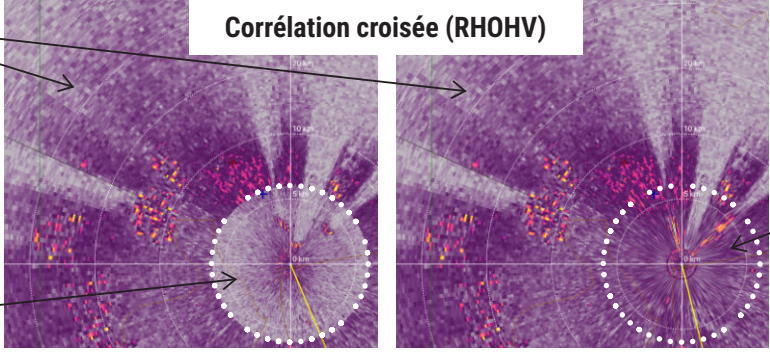
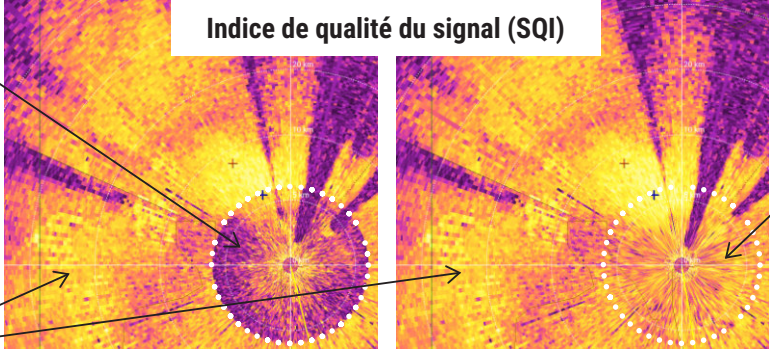
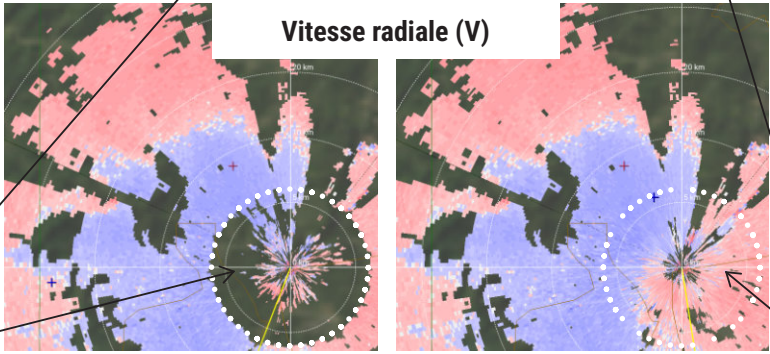
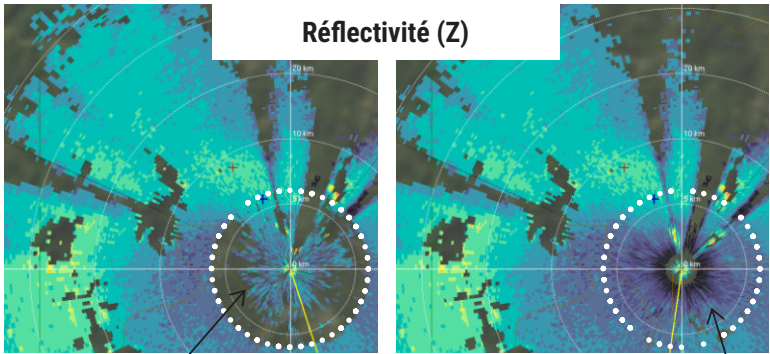
Une impulsion longue d'une durée de 40 µs a été utilisée, ce qui a donné lieu à une **zone d'impulsion courte d'environ 6 km** (cercle en pointillés). La qualité des données est fortement affectée dans cette zone.

L'approche compression d'impulsion traditionnelle présente une **grande zone de données de mauvaise qualité à proximité du radar** en raison du faible rapport signal/bruit (SNR) de l'impulsion courte.

La zone éloignée, où l'impulsion longue complète est appliquée dans les deux méthodes, ne présente aucune différence dans les données obtenues.

En raison du faible rapport signal/bruit, l'approche traditionnelle donne des **valeurs de corrélation croisée très faibles (c'est-à-dire des résultats erronés)** dans la zone des impulsions courtes.

La situation est similaire à celle de RHOHV. Les **données PHIDP dans la zone d'impulsion courte ne sont pas utilisables**.



COMPRESSION  
D'IMPULSION OPTIMISÉE  
EN PORTÉE

À droite, les mêmes données d'entrée ont été traitées à l'aide de la technique de **compression d'impulsion optimisée en portée** par GAMIC (voir la page intérieure de droite pour plus de détails).

La **qualité des données à chaque instant est considérablement améliorée** dans la zone d'impulsion courte de l'approche traditionnelle.

La compression d'impulsion optimisée présente une **sensibilité considérablement accrue à courte portée**. Ceci est important et nécessaire, en particulier pour les applications radar en champ proche, par exemple la surveillance aéroportuaire.

Les **valeurs de corrélation croisée (RHOHV) sont entièrement rétablies** et exploitables, même à courte portée autour du site radar.

Tout comme pour le RHOHV, les **données PHIDP sont considérablement améliorées** grâce au traitement avancé de la technique de compression d'impulsion optimisée en portée par GAMIC.

Compression d'impulsion optimisée en portée  
Une solution à tous les problèmes liés aux données de radar météo à transmetteurs en état-solide

GAMIC ENIGMA, le processeur de signaux radar météorologique, intègre une technique innovante de compression d'impulsion optimisée en résolution en portée. Notre approche résout tous les problèmes typiques de la compression d'impulsion traditionnelle / hybride pour les radars météorologiques équipés d'amplificateurs de puissance à semi-conducteurs (SSPA), ainsi que les problèmes liés à l'approche de compression d'impulsion partielle (voir le tableau à droite et les pages intérieures).

COMPRESSION D'IMPULSION OPTIMISÉE EN PORTÉE

L'approche de compression d'impulsion GAMIC permet d'obtenir des données de qualité supérieure à proximité du radar ; elle doit donc être envisagée pour toute application radar à courte portée, par exemple le contrôle aéroportuaire, l'observation hydrologique des villes, la détection des phénomènes météorologiques violents pour les événements en plein air, la surveillance météorologique des mines à ciel ouvert, etc.

En résumé, cette approche comprend trois techniques sophistiquées qui sont également représentées graphiquement dans le schéma ci-dessous :

- 1) Une modulation de fréquence non linéaire spéciale avec des filtres adaptés et optimisés individuellement est appliquée à chaque porte de résolution en portée, permettant une suppression supérieure des lobes latéraux en résolution en portée et le maintien d'une haute résolution en portée.
- 2) Les données à impulsion courte sont utilisées à très courte portée pour optimiser la résolution en portée et l'immunité aux échos parasites terrestres très puissants proches du radar (ce qui est toujours le cas).
- 3) L'impulsion longue est calibrée en continu et automatiquement pendant le fonctionnement normal par superposition avec l'impulsion courte.

MODULATION DE FRÉQUENCE OPTIMISÉE

Le processeur de signal GAMIC ENIGMA utilise une modulation de fréquence non linéaire spéciale. Il atténue les difficultés liées à l'approche de compression d'impulsions partielle en appliquant un filtre adapté et optimisé individuellement à chaque porte de portée dans la zone aveugle.

De plus, la modulation de fréquence est optimisée de manière à compenser la dégradation de la résolution en portée à proximité du radar. Il en résulte une suppression des lobes latéraux en résolution en portée et une résolution en portée dans la zone aveugle supérieures à celles obtenues avec d'autres techniques de compression d'impulsion.

DONNÉES À IMPULSIONS

| Solution pour ...                           | Compr. d'impulsion<br>... générale | ... traditionnelle /<br>hybride | ... avec étalonnage<br>par impulsion longue | ... partielle | ... optimisée en<br>portée par GAMIC |
|---------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Zone aveugle                                | X                                  | ✓                               | ✓                                           | ✓             | ✓                                    |
| Bond de sensibilité selon de portée         | N/A                                | X                               | X                                           | ✓             | ✓                                    |
| Perte de sensibilité des impulsions courtes | N/A                                | X                               | X                                           | ✓             | ✓                                    |
| Étalonnage d'impulsion longue               | N/A                                | X                               | ✓                                           | X             | ✓                                    |
| Lobes latéraux de portée dégradés           | N/A                                | N/A                             | N/A                                         | X             | ✓                                    |
| Perte de résolution en portée               | N/A                                | N/A                             | N/A                                         | X             | ✓                                    |

COURTES À TRÈS COURTE PORTÉE

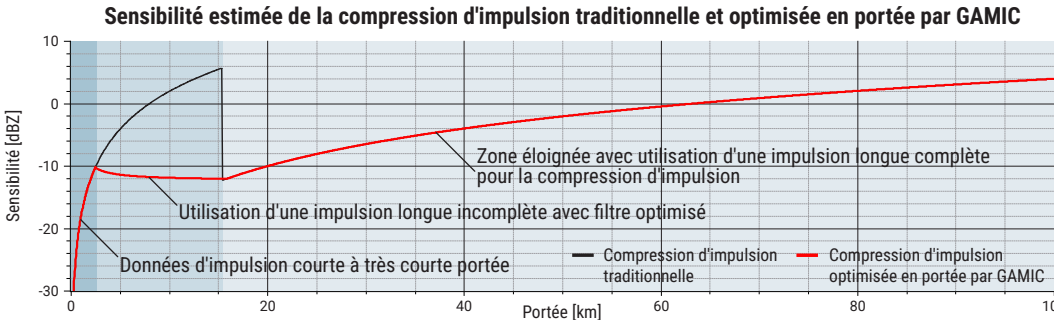
Presque tous les sites radar sont confrontés au problème de sources d'échos parasites du sol très intenses à proximité immédiate du radar, ce qui affecte considérablement les données, notamment en raison de la présence de lobes latéraux de résolution en portée. De plus, la résolution en portée diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche du radar.

Pour remédier à ces problèmes, l'approche GAMIC utilise des données à impulsions courtes à très courte portée afin d'optimiser la résolution en portée et d'assurer une immunité face aux interférences du sol très fortes à proximité du radar.

ÉTALONNAGE PAR IMPULSIONS LONGUES

De plus, le processeur de signal GAMIC ENIGMA effectue en continu, en arrière-plan et pendant le fonctionnement normal, un étalonnage automatique des impulsions longues et des impulsions partielles. Pour cet étalonnage, ENIGMA utilise comme référence les échos météorologiques sans interférences provenant de l'impulsion courte étalonnée. Une zone de chevauchement de 400 bins de résolution en portée est créée en prolongeant la durée de réception de l'impulsion courte.

Le décalage mesuré sur un grand nombre d'échantillons dans ce chevauchement est utilisé pour ajuster le gain de l'impulsion longue et le décalage de phase avec un rapport signal/bruit minimal configurable et une vitesse radiale différente de zéro.



Les radars météorologiques équipés d'amplificateurs de puissance à semi-conducteurs (SSPA) font leur apparition, mais ils posent un problème initial : leur puissance de crête est inférieure à celle des systèmes radar traditionnels. Par conséquent, des impulsions plus longues sont utilisées, mais elles entraînent une résolution en portée plus faible et créent une zone aveugle à proximité du radar. Les systèmes SSPA modernes recourent à des approches de compression d'impulsion pour atténuer ces problèmes et d'autres problèmes existants individuellement, mais seul le processeur de signal GAMIC ENIGMA dispose d'une technique sophistiquée de compression d'impulsion optimisée en résolution en portée qui résout tous les problèmes d'un seul coup.

### LE PROBLÈME INITIAL DES DONNÉES DES RADARS SSPA

Les systèmes radar SSPA (amplificateurs de puissance à semi-conducteurs) utilisent des émetteurs à transistors qui fournissent une puissance de crête inférieure à celle des émetteurs traditionnels à magnétron ou à klystron. Pour obtenir une sensibilité suffisante, cette puissance de crête plus faible doit être compensée par l'utilisation d'impulsions plus longues. L'énergie d'une impulsion est égale à la puissance de crête multipliée par la durée de l'impulsion. En augmentant la durée de l'impulsion, l'énergie transmise peut être augmentée, ce qui améliore la sensibilité. Cependant, les impulsions longues **réduisent la résolution en portée** et créent en outre **une zone aveugle à proximité du site radar**, appelée « éclipse radar », où aucune donnée n'est disponible.

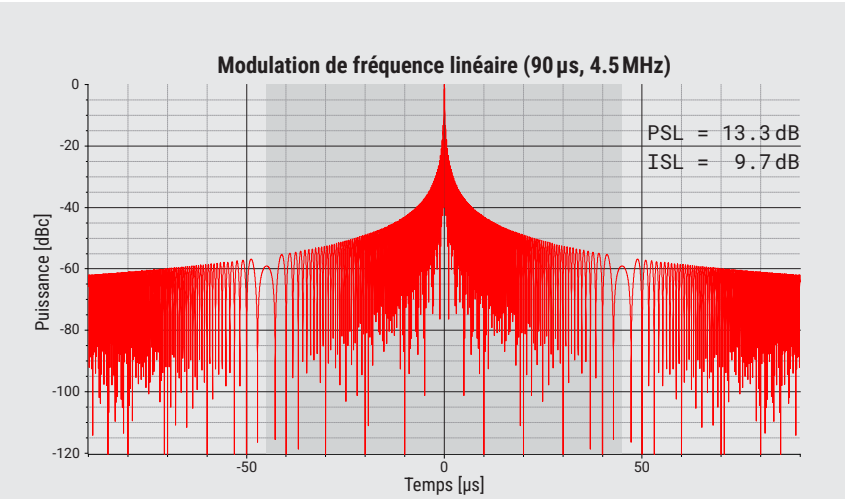
### HISTORIQUE – COMPRESSION D'IMPULSION POUR LES RADARS DE SURVEILLANCE

La compression d'impulsion a été initialement inventée pour améliorer les performances des radars de poursuite de cibles ponctuelles, c'est-à-dire pour distinguer les cibles avec une haute résolution en portée. Les radars de poursuite n'ont besoin que de **suivre la position du pic par rapport au bruit**, des lobes latéraux de portée modérés sont donc acceptables (généralement ~40 dB).

En revanche, les radars météorologiques doivent mesurer quantitativement l'amplitude et la phase du volume d'échantillonnage (défini par la largeur du faisceau et la résolution en portée). L'influence des volumes voisins (lobes latéraux en résolution en portée) devant être minimisée, **une compression d'impulsion plus sophistiquée est nécessaire** pour les radars météorologiques.

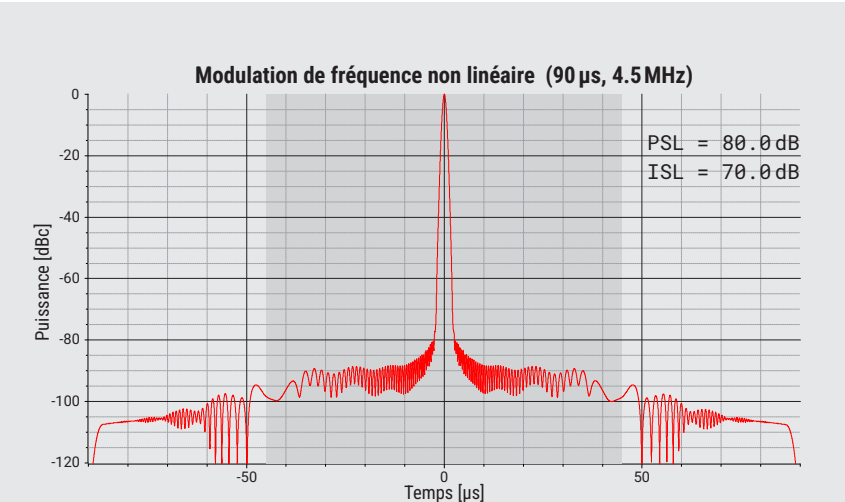
### COMPRESSION D'IMPULSION EN GÉNÉRAL

La compression d'impulsion **rétablit la résolution en portée** en modulant l'impulsion émise selon des schémas de fréquence spécifiques et en effectuant une corrélation croisée entre les signaux reçus et un signal de référence. Alors que la modulation de fréquence linéaire traditionnelle (LFM, voir encadré) offre de bons taux de compression, la modulation de fréquence non linéaire (NLFM, voir encadré) permet une **suppression supérieure des lobes latéraux** sans nécessiter de pondération d'amplitude supplémentaire. Cela permet une meilleure séparation des cibles proches, ce qui permet de distinguer les cibles ponctuelles fortes (comme les échos de sol) des cibles volumétriques plus faibles (telles que les échos météorologiques) tout en conservant des gains de compression d'impulsion efficaces.



#### Modulation de fréquence linéaire (LFM)

- » La LFM est le type de modulation le plus simple.
- » Elle produit une corrélation croisée avec un pic court (dans le temps) et pointu, mais qui s'élargit rapidement.
- » La résolution en portée est améliorée, les cibles ponctuelles peuvent être clairement détectées.
- » Utile pour les radars de poursuite de cibles ponctuelles, inutile pour les radars météorologiques (lobes latéraux de grande portée).



#### Modulation de fréquence non linéaire (NLFM)

- » Pour les cibles volumiques, une modulation de fréquence offrant une bonne résolution en portée et des lobes latéraux très faibles est nécessaire.
- » Cela peut être obtenu en mettant en œuvre une NLFM et en décalant soigneusement la fonction de corrélation du récepteur.
- » On obtient ainsi une corrélation croisée présentant un pic beaucoup plus élevé mais plus étroit.
- » Le gain de compression d'impulsion est identique, mais la résolution en portée est améliorée et les cibles proches sont bien mieux séparées.
- » Les cibles ponctuelles fortes (échos de sol) peuvent être distinguées des cibles volumétriques de plus faible intensité (conditions météorologiques).

PSL = Peak Sidelobe Level : écart en dB entre le pic de corrélation et le premier lobe latéral  
ISL = Integrated Sidelobe Level: différence entre la puissance de crête et l'intégrale des lobes latéraux de la portée en dB

### Approches de base de la compression d'impulsion

Solutions aux problèmes liés aux données des radars météo SSPA

#### COMPRESSION D'IMPULSION TRADITIONNELLE / HYBRIDE

Dans les techniques traditionnelles de compression d'impulsion, l'émission d'impulsions longues (jusqu'à 100 µs ou plus) entraîne l'apparition d'une zone aveugle à proximité immédiate du site radar. Il s'agit là d'un inconvénient majeur auquel il convient de remédier, en particulier pour les sites radar situés à proximité immédiate de la zone d'observation des cibles.

La technique standard consiste à combler la zone aveugle à l'aide d'une impulsion courte émise à une fréquence différente de celle de l'impulsion longue, afin d'éviter toute interférence entre les deux impulsions (voir les graphiques d'exemple ci-dessous). On parle parfois de « compression d'impulsion hybride ». Toutes les impulsions émises sont reçues simultanément et les échos des impulsions courtes sont utilisés pour combler la zone aveugle dans les données de l'impulsion longue. Malheureusement, cela pose trois problèmes majeurs :

##### Problème 1 : Bond de sensibilité en portée

On observe une discontinuité de sensibilité entre les impulsions courtes et les impulsions longues. Cela entraîne des données incohérentes, qui se traduisent souvent par des contours circulaires nets sur les données radar visualisées géographiquement.

##### Problème 2 : Perte de sensibilité pour les impulsions courtes

La sensibilité diminue considérablement avec la résolution en portée dans la zone des impulsions courtes. Cela pose un problème particulier pour les radars météorologiques observant des zones proches du site du radar, par exemple les aéroports, les villes, les mines à ciel ouvert, les événements en plein air, etc.

##### Problème 3 : Difficultés à l'étalonnage des impulsions longues

Les différences d'étalonnage entre les impulsions courtes et longues entraînent des discontinuités de portée. Alors que l'étalonnage des impulsions courtes est simple et similaire à celui d'autres radars (par exemple, à magnétron), il est difficile pour les impulsions longues.

#### APPROCHE DE L'ÉTALONNAGE DES IMPULSIONS LONGUES

Des discontinuités de portée apparaissent entre l'impulsion courte et l'impulsion longue en raison de différences d'étalonnage (problème 3). L'impulsion courte est similaire à toute autre impulsion non modulée provenant d'un radar météorologique (par exemple, à magnétron ou à klystron) ; son étalonnage est donc simple à réaliser à l'aide de signaux injectés. En revanche, l'impulsion longue ne peut pas être étalonnée par cette méthode,

car la largeur effective de l'impulsion, c'est-à-dire la largeur de l'impulsion lorsqu'elle interagit avec la cible, et les pertes liées au traitement numérique ne peuvent être qu'estimées, mais pas mesurées avec exactitude.

Au lieu de cela, l'impulsion longue peut être calibrée par rapport aux échos mesurés dans la région de l'impulsion courte. Pour cela, un chevauchement entre l'impulsion courte et l'impulsion longue est nécessaire, de sorte que l'impulsion courte soit reçue plus longtemps que nécessaire. Ensuite, le gain (par rapport aux échos météorologiques) et le déphasage de l'impulsion longue sont ajustés en conséquence.

L'inconvénient de cette approche est la persistance des problèmes de sensibilité (problèmes 1 et 2).

#### COMPRESSION D'IMPULSION PARTIELLE

La technique dite de « compression d'impulsion partielle » est une autre méthode bien connue qui consiste à n'utiliser que certaines parties de l'impulsion reçues pour combler la zone aveugle. Le récepteur ne pouvant capter les signaux qu'après l'émission de l'impulsion, il ne reçoit que la dernière partie (la queue) de l'impulsion émise. La longueur effective de l'impulsion diminuant à mesure que l'on se rapproche du radar, plusieurs paramètres clés du signal reçu se dégradent.

Une approche simple consiste à remplir la zone aveugle avec des zéros et à appliquer le filtre adapté standard. Cependant, le filtre adapté n'est valable que sur toute la durée de l'impulsion. Cette version tronquée entraîne une diminution de la résolution du radar et une détérioration de la suppression des lobes latéraux en résolution en portée, ce qui est crucial à courte portée en raison des échos de sol puissants qui sont constamment présents dans ces zones.

En résumé, cette approche atténue le saut de sensibilité entre les impulsions courtes et longues (solution au problème 1) et augmente la sensibilité en fonction de la résolution en portée dans la zone aveugle (solution au problème 2). Cependant, la compression d'impulsion partielle pose deux problèmes supplémentaires, en plus de la difficulté d'étalonnage des impulsions longues (problème 3) :

##### Problème 4 : Dégradation des lobes latéraux de portée

Les lobes latéraux de portée dans la zone aveugle sont fortement dégradés. Cela est dû à l'application d'un filtre adapté standard alors que l'impulsion reçue est en réalité trop courte.

##### Problème 5 : Perte de résolution en portée

À proximité du radar, la résolution en portée est réduite en raison de la coupure de l'impulsion reçue.

