

Utilisation des observations double-polarimétriques pour la calibration de la réflectivité radar



Nan YU¹, Qingtong GU², Nicolas GAUSSIAT¹

1 Centre de Météorologie Radar, Météo-France

2 Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration

R-TMA 2019

20 novembre 2019

Toulouse



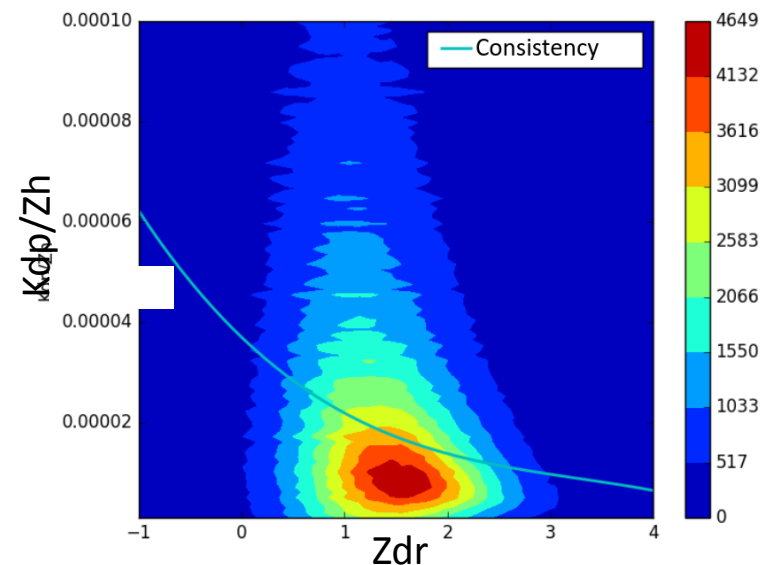
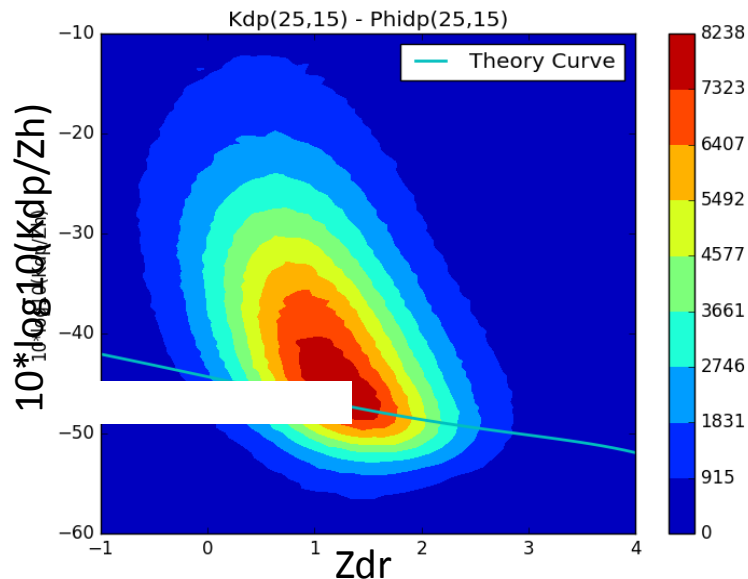
La relation d'auto-consistance entre les variables polarimétriques

Les variables polarimétriques (Zh, Zdr et Kdp) observées dans la pluie par un radar ne sont pas indépendantes. (Testud et al. 2000; Illingworth et al. 2001;).

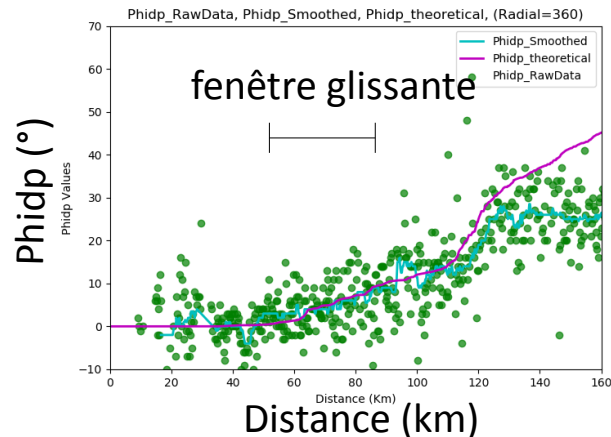
Une relation d'auto-consistance entre Kdp/Zh et Zdr est confirmée par beaucoup d'observations de la granulométrie de la pluie. Et cette relation nous permet de calibrer la réflectivité de radar.

$$\frac{Kdp}{Zh} \times 10^5 = 3.696 - 1.963 Zdr + 0.504 Zdr^2 - 0.051 Zdr^3 \quad \text{Gourley et al. (2008)}$$

La distribution des variables polarimétriques observées par le radar Piton Villers (en bande S) pendant l'épisode de pluie du 22-11-2018 à la Réunion avec la relation d'auto-consistance (à gauche : Y en échelle logarithmique ; et à droite : Y en échelle linéaire)



Calibration de la réflectivité radar par l'auto-consistance



KDP ($^{\circ}/\text{km}$) : la dérivée de Phidp. On l'estime par une régression linéaire sur une fenêtre glissante.

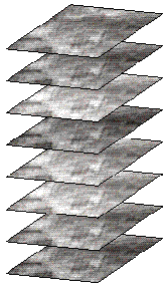
En raison du très fort bruit dans les mesures de Phidp et l'incertitude dans l'estimation du Kdp, il est impossible d'appliquer directement la relation d'auto-consistance pour la calibration de radar.

Deux approches de calibration existent dans la littérature

- approche d'intégration des toutes observations radar spatiales et temporelles et d'utilisation des variables moyennes ($\langle Z_h \rangle$, $\langle Z_{dr} \rangle$ et $\langle K_{dp} \rangle$) pour la calibration de radar (Ryzhkov et al. 2005)
- approche d'intégration des observations sur chaque radiale de radar (Goddard et al. 1994; Vivekanandan et al. 2003; Gourley et al. 2008)

Les deux méthodes ont été testées sur les radars de Météo-France en bande S et bande C, et comparées aux autres méthodes opérationnelles de calibration radar.

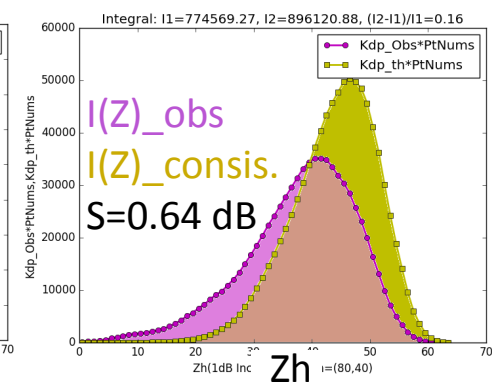
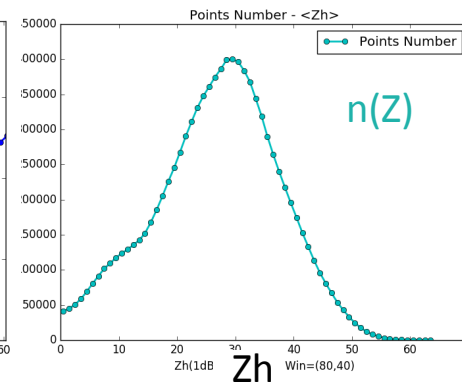
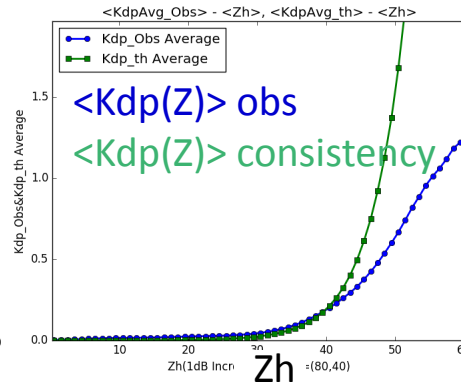
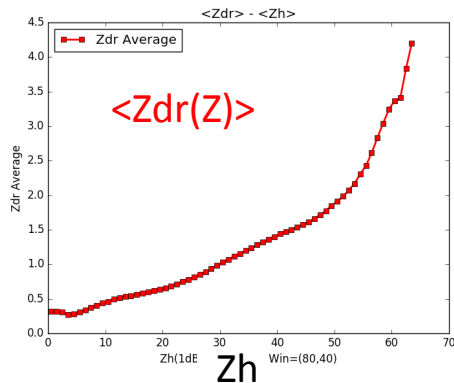
Intégration des toutes observations radar



Les données radar sont divisées en sous-classes en fonction de la réflectivité radar Z_h



Classe 1 ($0 < Z_h < 1$ dB)	Pixel5, Pixel9, Pixel11...	$\langle Zdr1 \rangle, \langle Kdp1 \rangle, n1$
Classe 2 ($1 < Z_h < 2$ dB)	Pixel2, Pixel4, Pixel6...	$\langle Zdr2 \rangle, \langle Kdp2 \rangle, n2$
Classe 3 ($2 < Z_h < 3$ dB)	Pixel1, Pixel10, Pixel8...	$\langle Zdr3 \rangle, \langle Kdp3 \rangle, n3$
...
Classe 70 ($69 < Z_h < 70$ dB)	Pixel3, Pixel7, Pixel12...	$\langle Zdr70 \rangle, \langle Kdp70 \rangle, n70$



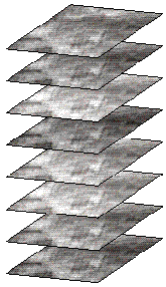
$$I = \sum_{i=1}^{70} \langle Kdp \rangle \times n_i$$

Et le biais de la réflectivité est $S_{dB} = \log_{10} \left(\frac{I_{consistency}}{I_{obs}} \right) \times 10$

Avantage: grande taille d'échantillon
moins sensible aux impacts des échos non météorologiques

Désavantage: le Kdp doit être estimé à partir de Phidp

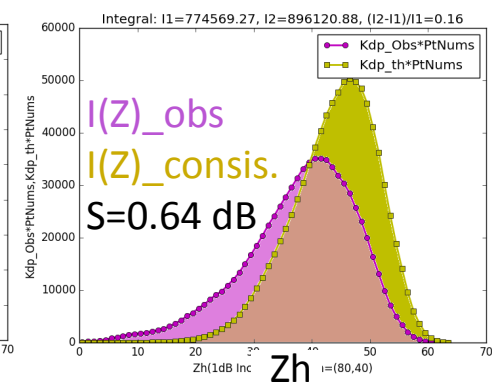
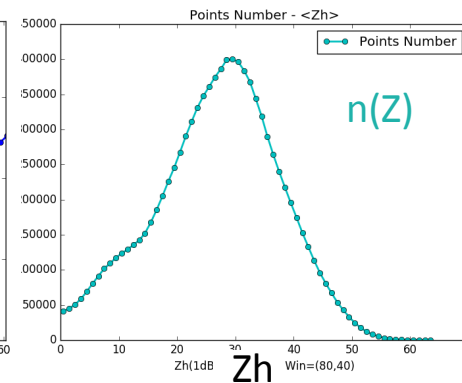
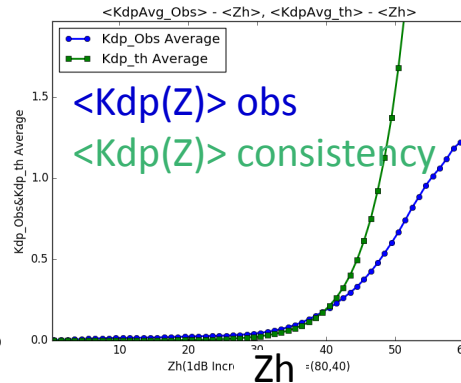
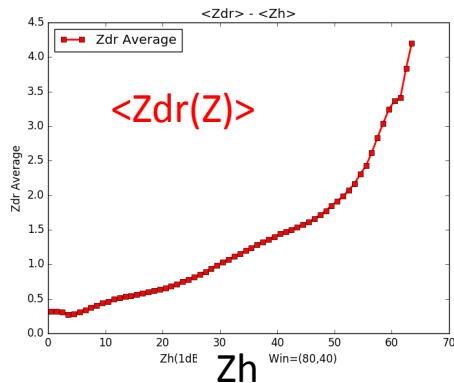
Intégration des toutes observations radar



Les données radar sont divisées en sous-classes en fonction de la réflectivité radar Z_h



Classe 1 ($0 < Z_h < 1$ dB)	Pixel5, Pixel9, Pixel11...	$\langle Z_{dr1} \rangle, \langle K_{dp1} \rangle, n_1$
Classe 2 ($1 < Z_h < 2$ dB)	Pixel2, Pixel4, Pixel6...	$\langle Z_{dr2} \rangle, \langle K_{dp2} \rangle, n_2$
Classe 3 ($2 < Z_h < 3$ dB)	Pixel1, Pixel10, Pixel8...	$\langle Z_{dr3} \rangle, \langle K_{dp3} \rangle, n_3$
...
Classe 70 ($69 < Z_h < 70$ dB)	Pixel3, Pixel7, Pixel12...	$\langle Z_{dr70} \rangle, \langle K_{dp70} \rangle, n_{70}$



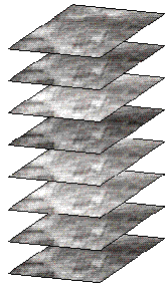
$$I = \sum_{i=1}^{70} \langle K_{dp} \rangle \times n_i$$

Et le biais de la réflectivité est $S_{dB} = \log_{10} \left(\frac{I_{consistency}}{I_{obs}} \right) \times 10$

Comment on estime le Kdp ?

Avec une régression linéaire sur 19 km $\rightarrow S = 0.64$ dB

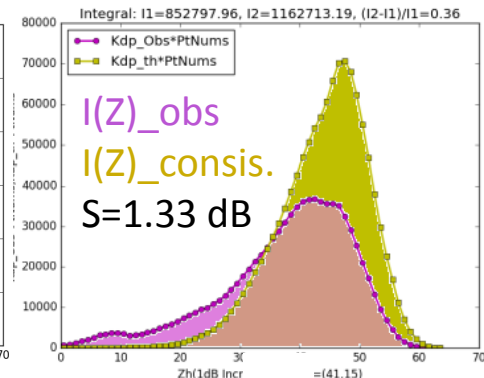
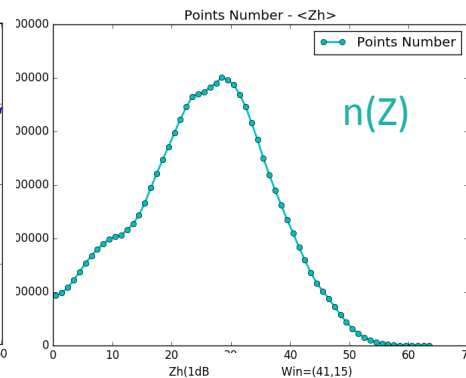
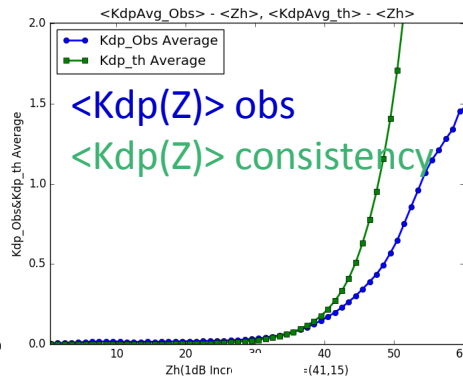
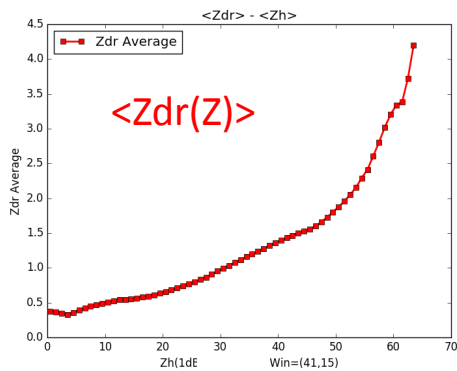
Intégration des toutes observations radar



Les données radar sont divisées en sous-classes en fonction de la réflectivité radar Z_h



Classe 1 ($0 < Z_h < 1$ dB)	Pixel5, Pixel9, Pixel11...	$\langle Zdr1 \rangle, \langle Kdp1 \rangle, n1$
Classe 2 ($1 < Z_h < 2$ dB)	Pixel2, Pixel4, Pixel6...	$\langle Zdr2 \rangle, \langle Kdp2 \rangle, n2$
Classe 3 ($2 < Z_h < 3$ dB)	Pixel1, Pixel10, Pixel8...	$\langle Zdr3 \rangle, \langle Kdp3 \rangle, n3$
...
Classe 70 ($69 < Z_h < 70$ dB)	Pixel3, Pixel7, Pixel12...	$\langle Zdr70 \rangle, \langle Kdp70 \rangle, n70$



$$I = \sum_{i=1}^{70} \langle Kdp \rangle \times n_i$$

Et le biais de la réflectivité est $S_{dB} = \log_{10} \left(\frac{I_{consistency}}{I_{obs}} \right) \times 10$

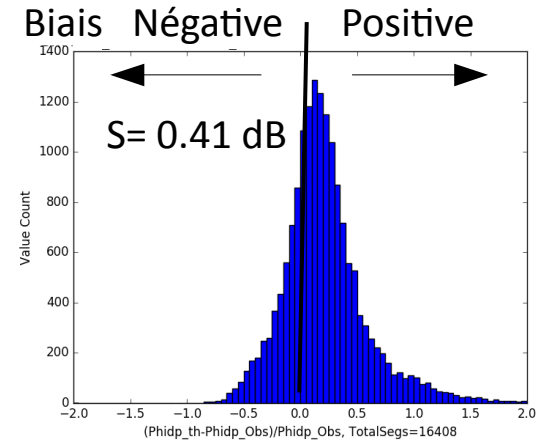
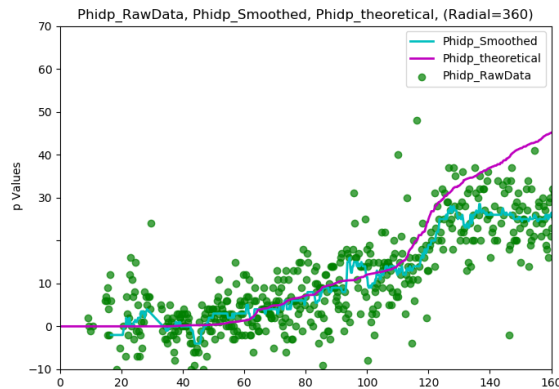
Comment on estime le Kdp ?

Avec une régression linéaire sur 19 km $\rightarrow S = 0.64$ dB

Mais avec une régression linéaire sur 10 km $\rightarrow S = 1.33$ dB

Intégration des observations sur radiale radar

- On travaille sur une radiale (segment) avec des pixels de pluie successifs



- Le Phidp théorique est calculé à partir de la relation d'auto-consistance et comparé au Phidp observé.
- Chaque segment donne une valeur de biais (S).
$$S_{dB} = \log_{10} \left(\frac{Phidp_{consistency}}{Phidp_{obs}} \right) \times 10$$
- L'histogramme des valeurs S sur une journée complète donne le biais final

Intégration des observations sur radiale radar

Les critères appliqués pour sélectionner les segments optimaux (e.g. pour un radar en bande S) sont :

- *Tous les pixels sont identifiés comme pluie liquide (pas de grêle, pas d'écho-fixe, etc.)*
- *$15\text{km} < \text{longueur du segment} < 50\text{km}$*
- *Taux de blocage $< 5\%$*
- *$3^\circ < \text{Phidp} < 30^\circ$, et les atténuations sont déjà corrigées*
- *Zdr est entre -1 dB et 3 dB au début et à la fin des segments*
- *Zh près du radar $< 30 \text{ dBZ}$*

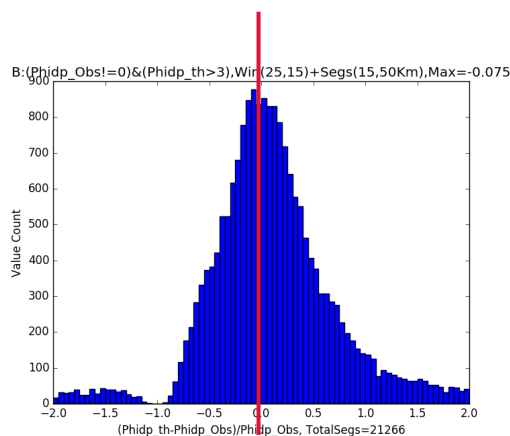
Avantage: estimation du Kdp n'est pas nécessaire

Désavantage: petite taille de l'échantillon
 sensible aux impacts des pixels non-météorologiques

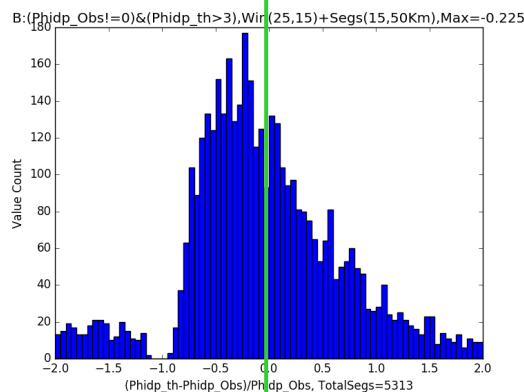
Application de la calibration (radar en bande S)

À Météo-France, 4 radars sont exploités en bande S avec la technologie polarimétrique. La réflectivité radar est également contrôlée par le niveau de bruit d'écho-fixe.

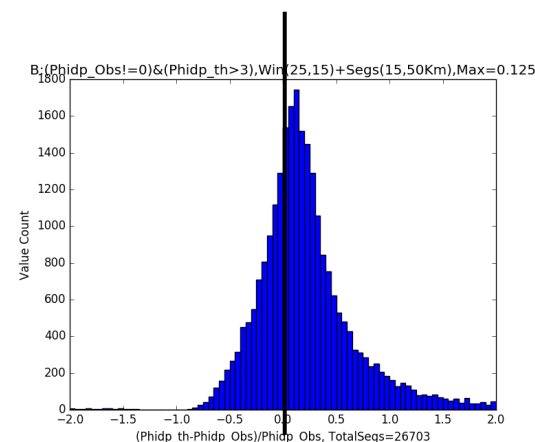
Radar de Piton Villers



2018-03-18 (bias -0.3 dB)

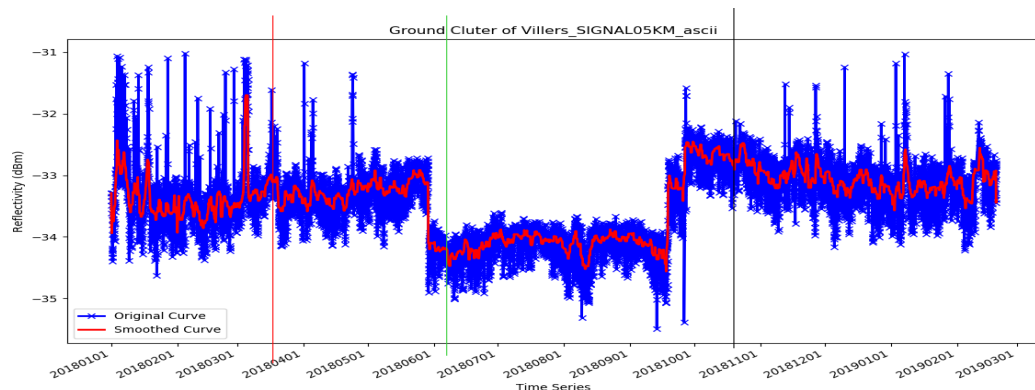


2018-06-06 (bias -1.1 dB)



2018-10-22 (bias 0.5 dB)

Séries temporelle de la réflectivité sur écho-fixe



03/18

06/06

10/22

Comparaison du biais radar obtenu par la méthode d'auto-consistance et l'écho-fixe

Date	Bias from self consi.(dB)	Ground Clutter(dBm)
19/03/2018	-0.3	-33.3(=-33.0-0.3)
06/06/2018	-1.1	-34.2(=-33.0-1.2)
22/10/2018	0.5	-32.7(=-33.0+0.3)

Application de la calibration (radar en bande C)

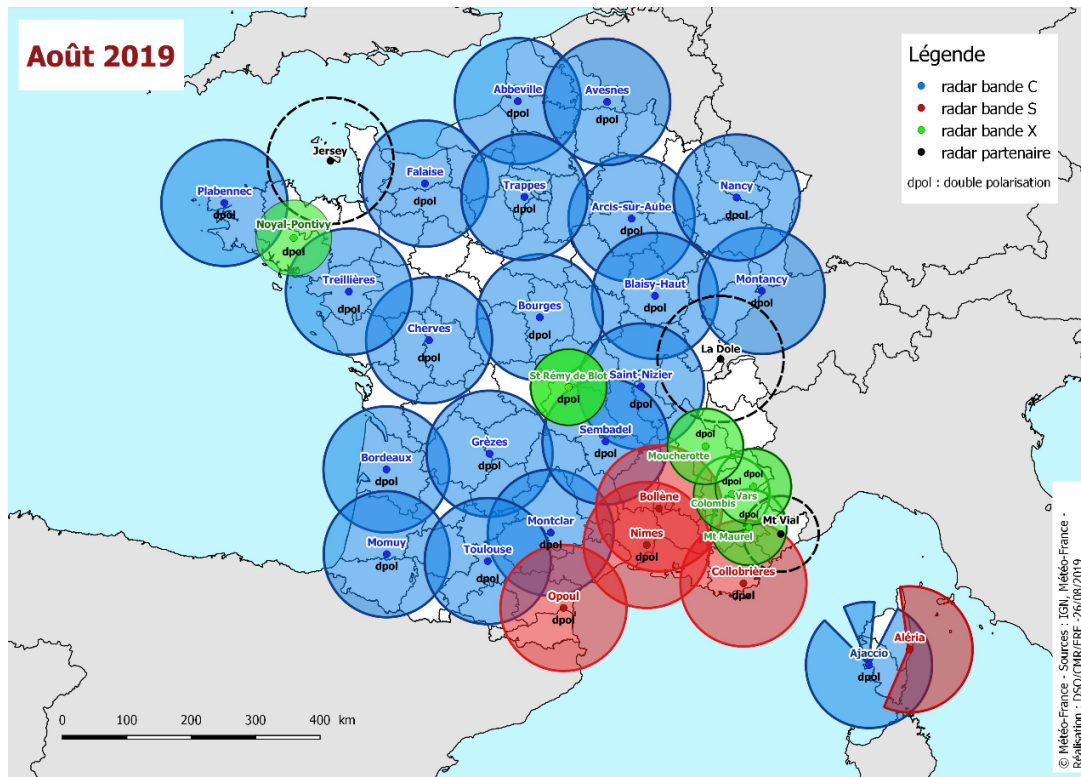


Si la relation d'auto-consistance de Gourley et al. (2008) est appliquée.
Tous nos radars en bande C sont biaisés de -3 dB ???

$$\frac{Kdp}{Zh} \times 10^5 = 6.746 - 2.970 Zdr + 0.711 Zdr^2 - 0.079 Zdr^3$$

Kdp one-way in (°/km) Zh in (mm⁶m⁻³) Zdr in (dB)

Si Zdr=1.5 dB, Kdp=0.5°/km → Zh=41.4 dBZ



Radar name	Bias from self-consistency (dB)
Abbeville	-3.0
Bordeaux	-4.0
Bourges	-3.0
Falaise	-2.2
Cherves	-3.0
Sembadel	-2.6
Nancy	-2.6
St Nizier	-3.0
Plabennec	-3.0
Treillieres	-1.0
Arcis	-3.0

Application de la calibration (radar en bande C)

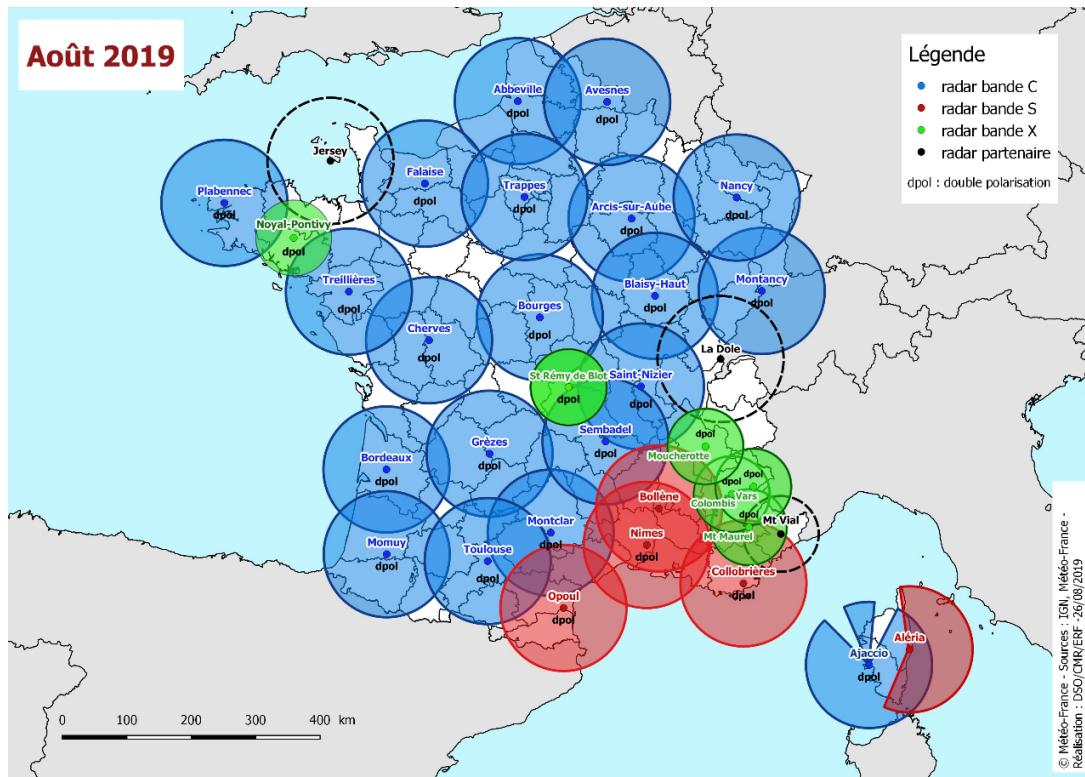


Si la relation d'auto-consistance de y Gorgucci et al. (1992) est appliquée. **Nos radars en bande C sont calibrés à mieux que 1 dB.**

$$\frac{Kdp}{Zh^{0.95}} = 1.82 \times 10^{-4} \times Zdr^{-1.28}$$

Kdp one-way in (°/km) Zh in (mm⁶m⁻³) Zdr (no unit)

Si Zdr=1.5 dB, Kdp=0.5°/km → Zh=38.2 dBZ



Radar name	Bias from self-consistency (dB)
Abbeville	-0.4
Bordeaux	0.0
Bourges	+0.4
Falaise	+0.8
Cherves	+0.4
Sembadel	+1.1
Nancy	+0,8
St Nizier	+0.4
Plabennec	-0.2
Treillieres	+2,5
Arcis	+0.2

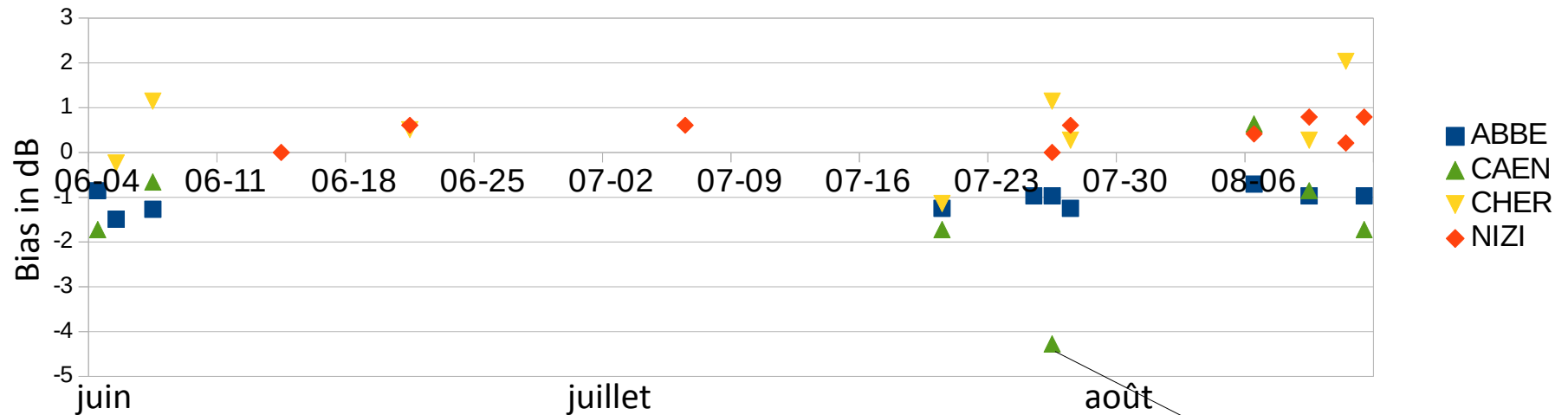
Application de la calibration (radar en bande C) : Séries temporelles

Calibrations sur 4 radars en C-bande pendant 3 mois

Biais du radar ABBE : -1 dB en moyenne

Biais du radar NIZI : 0.45 dB en moyenne

Biais de CAEN et CHER : variables (variabilité temporelle > 1 dB)



En (dB)	Moyenne biais par auto-cons.	Facteur mensuel par pluvio.
ABBE	-1,07	-0,7
CAEN	-1,01	-1,26
CHER	0,5	0,73
NIZI	0,45	0

Zdr calibration
erreur de 0,8 dB

En moyenne, les différences entre les méthodes sont < 0,5 dB

Amélioration de l'estimation du Kdp

- Le Kdp est actuellement estimé à partir d'une régression linéaire sur une distance de 6 km (25 portes) à Météo-France. L'erreur de l'estimation du Kdp peut être calculée par

$$\sigma[K_{dp}] = \frac{1}{\Delta r \sqrt{N(N-1)(N+1)/3}} \sigma[\hat{\Psi}_{dp}]$$

Gorgucci et al. (1999)

Ou N : nombre de porte dans la régression

Δr : résolution de porte de radar

E.g. Après le lissage, la variabilité de Phidp est de 3° ou 4°, l'erreur du Kdp est de l'ordre de 0,2°. Elle représente une erreur de 20 % pour une précipitation de 30 mm/h, et une erreur de 50 % pour une précipitation de 15 mm/h pour les radars en bande C.

- Pour réduire cette erreur dans l'estimation du Kdp, il faut appliquer une régression linéaire sur une distance plus longue ($\Delta r N$ plus important). Cependant, on va atténuer le fort Kdp local (forte pluie locale).
- Actuellement, on a toujours une tendance de sur-estimer le faible Kdp et de sous-estimer le forte Kdp avec la régression linéaire de 6 km.

Amélioration de l'estimation du Kdp

Deux approches sont présentées dans la littérature pour améliorer l'estimation du Kdp

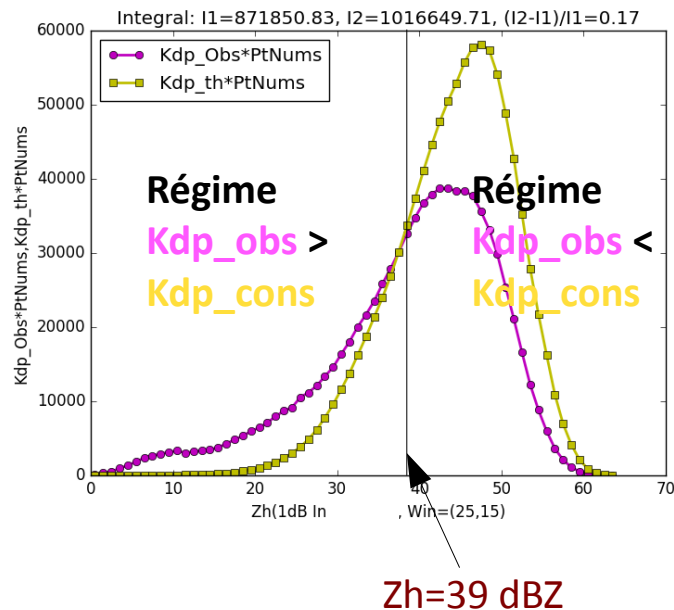
- approche purement « statistique » : on peut ajuster la distance dans la régression linéaire en fonction de l'intensité de la pluie (réflectivité radar). e.g. à CSU-CHILL, on utilise
 - 4,5 km (30 portes) pour un pixel avec $Z_h < 35$ dBZ
 - 3,0 km (20 portes) pour un pixel avec $35 \text{ dBZ} < Z_h < 45$ dBZ
 - 1,5 km (10 portes) pour un pixel avec $Z_h > 45$ dBZdans la régression linéaire pour estimer le Kdp.
- approche purement « physique » : on peut aussi utiliser la relation d'auto-consistance en appliquant l'observation de Phidp sur une longue distance (segment).
 - Méthode ZPHI (Testud et al. 2000) analytique basée sur des relations A_h - Z_h et A_h -Kdp (Estimation du $N0^*$ pour chaque segment avec Phidp au début et à la fin)
 - Méthode ZPHI modifiée (Bringi et al. 2001) basée sur l'ajustement du $N0^*$ avec toutes les valeurs de Phidp du segment
 - Méthode ZPHI en version d'atténuation (Ryzhkov 2014) avec l'ajustement du $N0^*$ global d'une image / de l'épisode en utilisant la relation Z_h - Z_{dr} .

Approche hybride : La relation d'auto-consistance entre Z_h , Z_{dr} et Kdp nous permet d'optimiser la distance de la régression linéaire avec la méthode de Ryzhkov (2005)

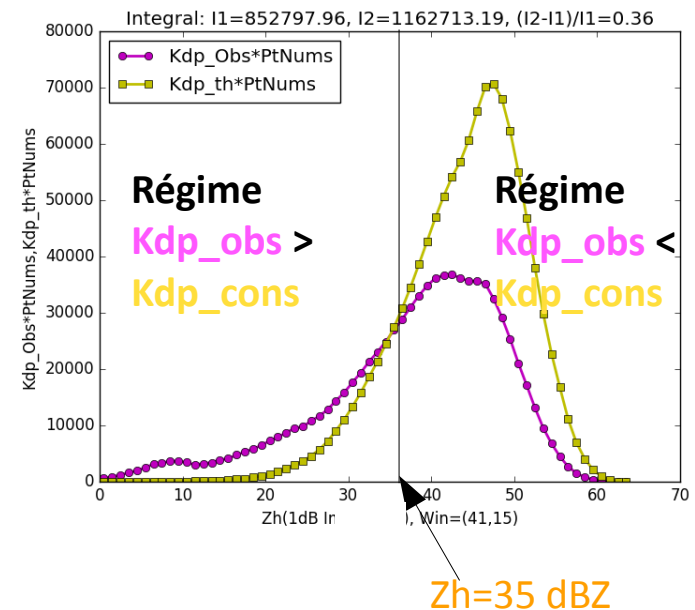
Amélioration de l'estimation du Kdp

Si l'on suppose qu'il n'y a pas de biais dans les observation de Zdr et de Zh. Le Kdp estimé par la relation d'auto-consistance nous permet d'évaluer la qualité de l'estimation de Kdp

KDP estimation window at 6 km (25 gates)



KDP estimation window at 9.8 km (40 gates)



La position du changement de régime dépend de la distance utilisée dans l'estimation du Kdp
Pour la pluie avec $Zh=39$ dBZ, une distance de 6 km est plus adaptée
Pour la pluie avec $Zh=35$ dBZ, une distance de 9,8 km est plus adaptée

Conclusions

Deux méthodes de calibration de la réflectivité radar basées sur la relation d'auto-consistance ont été testées:

- 1) La méthode d'intégration des toutes observations radar est trop sensible à l'estimation Kdp (la moyenne de Kdp ne réduit pas le biais systématique induit par l'estimateur de Kdp)
- 2) La méthode d'intégration sur radiale radar fonctionne bien pour une calibration journalière Cela dépend uniquement de Φ_{hidp} , mesuré sur des segments de pluie soigneusement sélectionnés.
- 3) La relation d'auto-consistance proposée par Gourley et al. (2008) fonctionne bien pour les radars en bande S mais introduit un biais de 3 dB pour les radars en bande C alors que la relation proposée par Gorgucci et al. (1992) semble mieux pour ces radars. La méthode d'auto-consistance, la surveillance d'écho-fixe et la calibration par pluviomètre sont généralement d'accord. La combinaison des trois méthodes nous permet de mieux surveiller le fonctionnement de radar

Idée : La relation d'auto-consistance pourrait fournir un moyen d'ajuster la longueur des filtres de lissage dynamique pour mieux estimer le Kdp

Merci de votre attention.