

---

# Calibration d'un radar météorologique pour la mesure des précipitations. Premiers résultats en région parisienne

## *Calibration of a meteorological radar for measuring precipitation. Initial results in the Paris region*

J.D. Creutin, G. Delrieu, Ch. Obled

Institut de Mécanique de Grenoble

---

### 1. Introduction

Les hydrologues sont habitués à estimer la pluie tombant sur une région à l'aide de pluviomètres ou de pluviographes toujours trop rares et dont les mesures sont coûteuses à rassembler, notamment en temps réel ; l'idée de disposer d'un capteur susceptible de mesurer la pluie "partout" et de centraliser instantanément ces mesures ne peut les laisser indifférents même si la méfiance est leur premier réflexe.

C'est de cette méfiance qu'est empreinte notre démarche lorsque nous essayons de tirer du radar une information ponctuelle afin de la valider à l'aide des mesures au sol ; nous comparons ainsi les résultats d'une mesure intégrée sur 1 km<sup>2</sup> environ (taille moyenne des mailles radar utilisées) avec ceux d'une intégration sur quelques décimètres carrés (taille des bagues de pluviomètre).

Aussi discutable soit-elle cette validation nous paraît pourtant inévitable avant de pouvoir profiter pleinement des vertus du radar, notamment pour l'estimation de lames d'eau sur des bassins versants où, correctement calibré, il devrait remplacer avantageusement les techniques classiques de pondération des seules mesures au sol (technique de Thiessen ou interpolation puis intégration).

Les premiers résultats que nous présentons concernent :

- d'une part, la comparaison, pour des mesures horaires, des hyétogrammes sol et radar obtenus après calibration sur une cinquantaine de pluviographes,
- d'autre part, pour des pluies journalières, nous avons essayé d'évaluer la précision ponctuelle du radar en la comparant à celle d'une technique classique d'interpolation.

### 2. Description sommaire des données utilisées

#### *Réseaux sol (Fig. 1)*

Bien que le nombre de pluviographes situés sous la couverture du radar soit d'environ 200<sup>(1)</sup>, nous n'avons disposé au cours de cette étude que de 53 d'entre eux (essentiellement en raison des délais de dépouillement). Ces 53 postes sont répartis de façon à peu près homogène.

Pour les mesures quotidiennes, nous nous sommes limités à la moitié Sud-Ouest de la couronne radar ; dans cette zone, la Météorologie Nationale gère 236 postes pluviométriques dont nous avons utilisé les mesures.

#### *Données radar*

La chaîne d'acquisition "SAPHYR" [4] installée sur le radar MELODI de Dammartin en Goëlle a permis à la Météorologie Nationale de mettre à notre disposition environ 200 heures d'enregistrement dont trois séries couvrent des périodes de 24 heures consécutives (de 8 h à 8 h) ; nous avons ainsi disposé des images radar des 7 et 8 octobre 1980 et du 14 décembre 1980.

Les images enregistrées par la chaîne, toutes les 5 ou 2 minutes, donnent sur des rayons espacés en azimuth d'environ 2°, 256 mesures de la réflectivité radar entre 52 et 180 km ; ce qui donne approximativement 45 000 valeurs de réflectivité pour un tour d'antenne complet.

Nous avons transformé ces réflectivités  $Z$  en intensités de pluie  $R$  à l'aide d'une relation de Marshall-Palmer :

$$Z = 200 R^{1.6}$$

Puis, nous avons "moyenné" 12 à 30 images successives afin d'obtenir des images horaires ramenées à une

---

(1) Ces appareils sont gérés essentiellement par la Météorologie Nationale et le Bureau de l'Eau ; quelques-uns appartiennent à d'autres services tels que les SRAE.

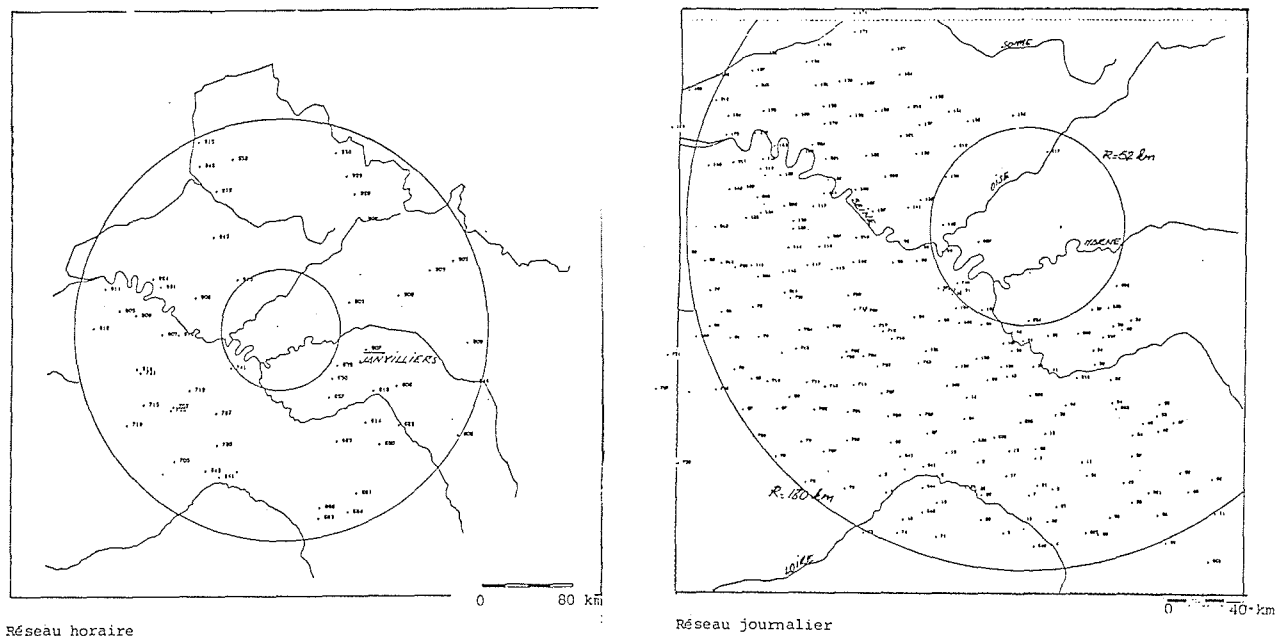


Figure 1 – Réseaux pluviométriques horaire (53 pluviographes) et journalier (236 pluviomètres).

grille sphérique standard de 180 rayons (analyses) de 256 valeurs (portes); le premier rayon est orienté vers le nord.

Enfin, le cumul de 24 images horaires nous a permis d'obtenir des images journalières.

### 3. Calibration

Des écarts de 100 % entre mesures radar et pluviographiques sont souvent évoqués dans la littérature [1] [3] [5]. L'application d'une relation Z-R moyenne a certes une influence importante mais n'est qu'une source d'erreur parmi d'autres.

En admettant que la précision ponctuelle de la mesure pluviométrique soit meilleure, on peut penser réduire les écarts radar-pluviographe en calibrant la surface radar par des coefficients correcteurs déduits de  $n$  points de comparaison.

La calibration revient en fait à ajuster le facteur multiplicatif de la relation Z-R (l'exposant n'étant pas remis en cause du fait de la procédure de cumul décrit plus haut et de la non-linéarité de la relation Z-R).

#### 3.1. Calibration "uniforme"

Nous qualifions d'"uniforme" une calibration utilisant la même formule de transformation pour l'ensemble des points de l'image.

Nous avons essayé trois types de calibration; les deux premiers se limitent à un facteur multiplicatif :

– facteur multiplicatif moyen :

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n r_i}$$

– moyenne de facteurs multiplicatifs :

$$F_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{r_i}$$

où  $r_i$  et  $s_i$  représentent les mesures radar et sol concernant la  $i^{\text{ème}}$  station du réseau de calibration.

Le troisième est une droite de régression classique calée par moindres carrés sur le nuage de  $n$  points ( $s_i$ ,  $r_i$ ) de calibration.

L'estimation  $s_j^*$  de la pluie au sol à la  $j^{\text{ème}}$  station du réseau test se fera de la façon suivante :

$$s_j^* = F_1 \cdot r_j \quad \text{ou} \quad s_j^* = a \cdot r_j + b$$

Il est évident que l'ordonnée à l'origine  $b$  de la deuxième formule peut conduire à des résultats physiquement aberrants (pluies négatives notamment); nous avons tout de même essayé ce type de calibration en restant vigilants dans la reconstitution des faibles valeurs.

#### 3.2. Calibration "régionalisée"

Parfois l'application d'un facteur correctif moyen à l'ensemble d'une image peut paraître abusif dans la mesure où les rapports  $s_i/r_i$  peuvent varier de manière spatialement cohérente.

Le calage d'une fonction spline sur les valeurs  $s_i/r_i$  aux points de calibration peut permettre par interpolation d'estimer le coefficient  $(s_j/r_j)^*$  au point  $j$  et par là même d'opérer une calibration régionalisée de l'image radar :

$$s^* = \left( \frac{s_j}{r_j} \right)^* \cdot r_j$$

### 4. Pluies horaires

Le réseau provisoirement restreint des pluviographes disponibles (53 sur l'ensemble de la couronne radar) ne

EPISODE 3003 DEBUT 801016 FIN 801017  
STATION 907 JANVILLIERS XS - 696.2 YS - 733.7

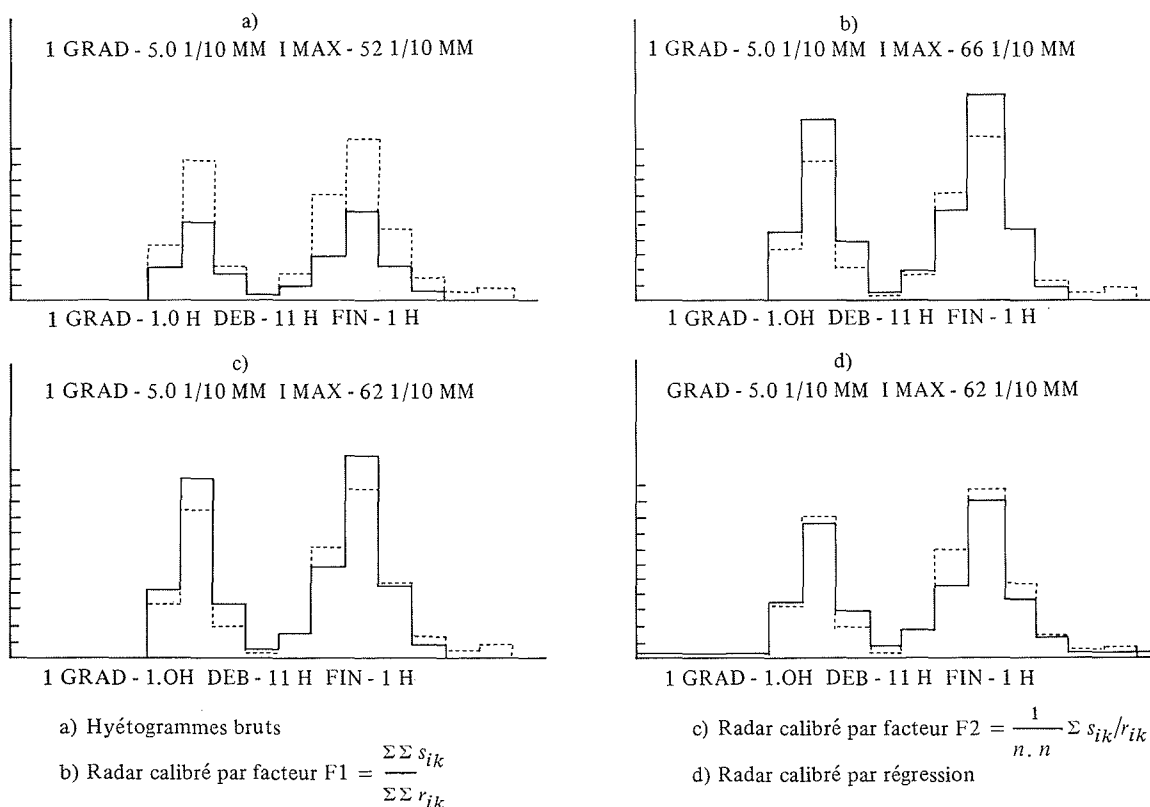


Figure 2 – Comparaison des hyétogrammes radar et sol pour Janvilliers.

nous a pas permis de tester la qualité des reconstitutions sur des points non utilisés pour la calibration.

Nous nous sommes limités à comparer pour quelques épisodes les hyétogrammes fournis par le pluviographe avec ceux des pixels radar correspondant calibrés uniformément de trois manières différentes.

Afin d'illustrer brièvement les résultats obtenus, la figure 2 regroupe – pour une station assez proche du radar (85 km), située dans une zone non affectée par des échos de sol ou des masques – des comparaisons entre les hyétogrammes sol et radar :

*a) radar non calibré*

Les valeurs systématiquement déficitaires du radar présentent néanmoins un bon synchronisme avec les observations au sol.

*b et c) radar calibré par un facteur multiplicatif calculé sur l'ensemble de l'averse (quelques heures)*

La "mise à niveau" des valeurs radar se fait de façon à peu près identique avec les deux facteurs testés. Le calage de tels facteurs heure par heure s'est révélé moins performant sans doute en partie à cause de la médiocre disponibilité du réseau au sol.

*d) radar calibré à l'aide d'une régression linéaire sur l'ensemble de l'averse*

Légèrement plus satisfaisante cette calibration demande à être utilisée avec précaution pour les échos faibles ou nuls en raison de l'ordonnée *b* à l'origine de la droite de régression.

Il est évident que d'autres stations, moins bien situées ou moins bien gérées que celle de Janvilliers pose des problèmes de calibration plus graves que nous pouvons ramener à trois cas de figure :

- 1) stations situées dans des zones masquées (essentiellement dans le Sud-Est de la couronne ou affectées d'échos de sol (c'est le cas des agglomérations importantes situées à proximité du radar – Versailles notamment),
- 2) stations éloignées du radar pour lesquelles des effets d'atténuation conduisent à une sous-estimation fréquente,
- 3) stations dont le calage en temps est approximatif ; le dépouillement au pas de l'heure, peu sensible à quelques minutes de décalage, conduit malheureusement peu souvent à la mise en évidence d'un déphasage s'il n'est pas lui-même un multiple d'heures.

Si les cas 1 et 3 ne semblent pouvoir conduire qu'à l'exclusion de telles stations d'un réseau de calibration, il est possible que la prise en compte de l'éloignement au radar par une calibration régionalisée nous permettra d'obtenir de meilleurs résultats à l'aide des stations entrant dans la 2<sup>e</sup> catégorie.

Le choix d'utiliser 53 stations de calibration (en retirant éventuellement quelques "indésirables") est totalement arbitraire. Dans le cas de la recherche d'un facteur multiplicatif  $F_1$  ou  $F_2$ , nous avons fait quelques essais pour voir le nombre de stations nécessaire à l'obtention d'un facteur "correct".

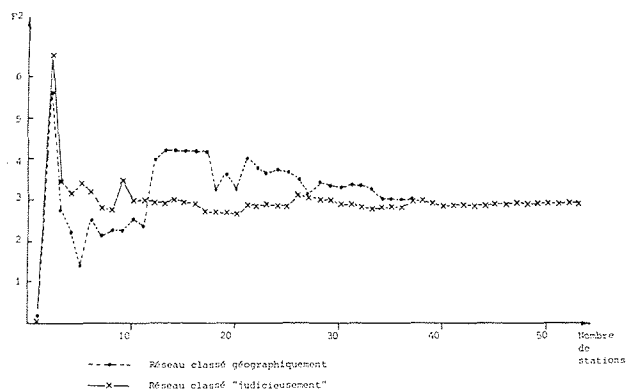


Figure 3 – Convergence des coefficients de calibration  $F_2$  pour l'épisode des 16 et 17 octobre 1980.

Pour cela, nous avons suivi l'évolution de la valeur de ces facteurs obtenus en retenant un nombre croissant de stations de calibration. La figure 3 représente deux "convergences" de la valeur du facteur  $F_2$  pour un épisode pluvieux :

– la première courbe a été obtenue en introduisant les stations par régions géographiques : d'abord celles du sud-est, puis du sud-ouest, etc.; cet ordre, a priori maladroite, permet la mise en évidence de convergences successives vers des valeurs différentes du facteur qui repoussent loin la convergence mais qui montrent une régionalisation de ce facteur,

– la deuxième courbe découle d'un choix plus rationnel : les stations retenues successivement proviennent de régions géographiques variées; la convergence beaucoup plus rapide indique qu'un réseau d'une douzaine

Tableau I

Journée du 07-10-1980							
Données corrélées	Type de calibration	S mm	R mm	$CV_S$	$CV_R$	R	NOBS
$S = \{s_j\}$ $R = \{r_j\}$	Aucune	5,6	0,9	0,85	1,60	0,58	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_1 \cdot r_j\}$	$F_1 = \frac{\sum r_j}{\sum s_j} = 7,07$	5,6	6,3	0,85	1,61	0,58	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_2 \cdot r_j\}$	$F_2 = \frac{1}{n} \sum \frac{s_j}{r_j} = 9,14$	5,6	8,2	0,85	1,61	0,58	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{a r_j + b\}$	$a = 2,52$ $b = 3,7$	5,6	5,9	0,85	0,62	0,58	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_j \cdot r_j\}$	$F_j = \left(\frac{s_j}{r_j}\right)^*$ spline	5,6	3,7	0,85	1,62	0,73	156
$S = \{s_j\}$ $R = \{s_j^*\}$	Reconstitution Spline	5,6	6,0	0,86	0,75	0,78	156
Journée du 08-10-1980							
$S = \{s_j\}$ $R = \{r_j\}$	Aucune	6,5	8,1	1,51	1,32	0,73	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_1 \cdot r_j\}$	$F_1 = 3,75$	6,5	7,5	1,51	1,32	0,73	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_2 \cdot r_j\}$	$F_2 = 3,53$	6,5	7,5	1,51	1,32	0,73	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{a r_j + b\}$	$a = 4,33$ $b = -1,35$	8,4	11,3	1,27	1,12	0,69	114
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_j \cdot r_j\}$		7,4	8,0	1,38	1,55	0,88	133
$S = \{s_j\}$ $R = \{s_j^*\}$		6,6	7,5	1,49	1,79	0,88	150
Journée du 14-12-1980							
$S = \{s_j\}$ $R = \{r_j\}$	Aucune	8,9	4,7	0,38	0,42	0,51	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_1 \cdot r_j\}$	$F_1 = 2,06$	8,5	9,7	0,38	0,42	0,51	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_2 \cdot r_j\}$	$F_2 = 2,33$	8,9	11,0	0,38	0,42	0,51	158
$S = \{s_j\}$ $R = \{a r_j + b\}$	$a = 1,28$ $b = 3,47$	8,9	9,5	0,38	0,26	0,51	156
$S = \{s_j\}$ $R = \{F_j \cdot r_j\}$		8,9	9,8	0,38	0,33	0,47	156
$S = \{s_j\}$ $R = \{s_j^*\}$		8,9	9,1	0,38	0,33	0,66	156

$s_j$  donnée sol de la  $j^{\text{ème}}$  station de validation ;  $r_j$  donnée radar brute correspondante.

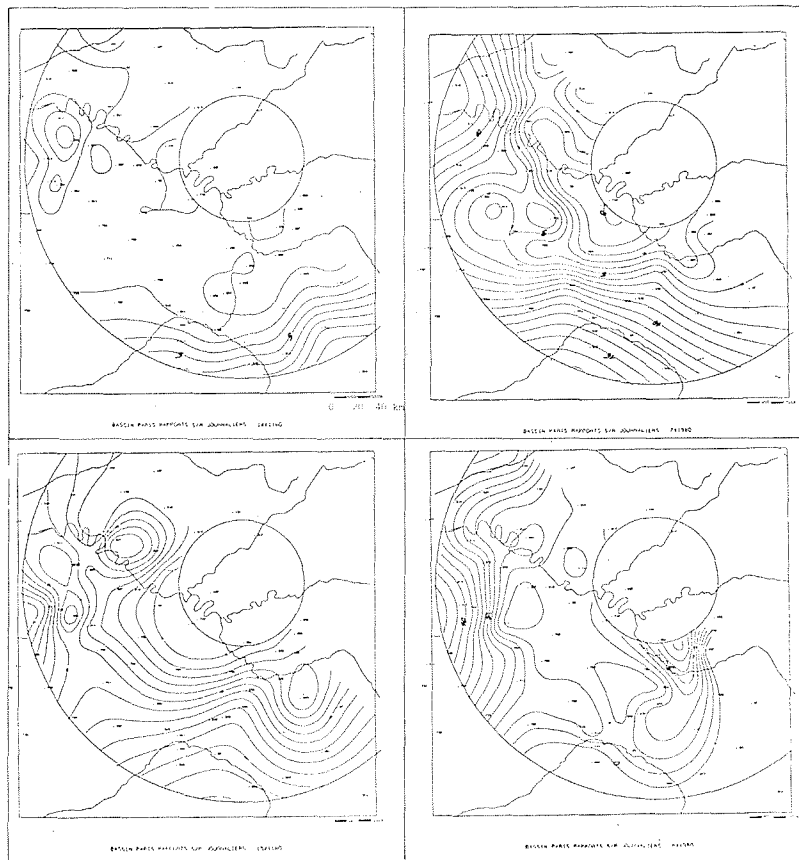


Figure 4 – Carte des rapports  $s/r$ .

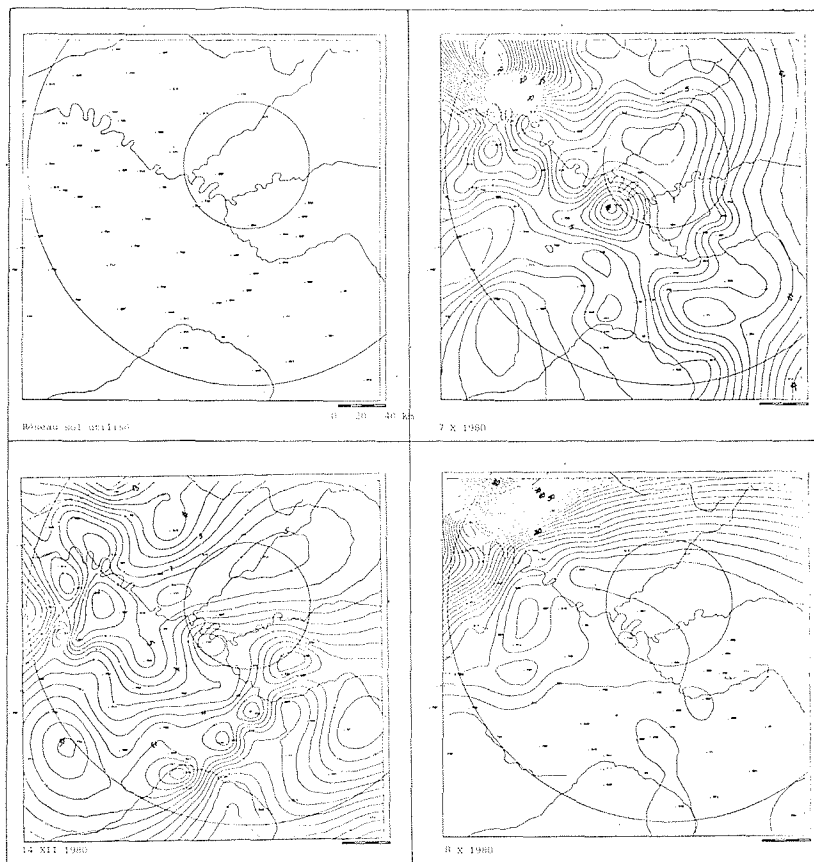


Figure 5 – Cartes de la pluie au sol mesurée par le réseau de calibration.

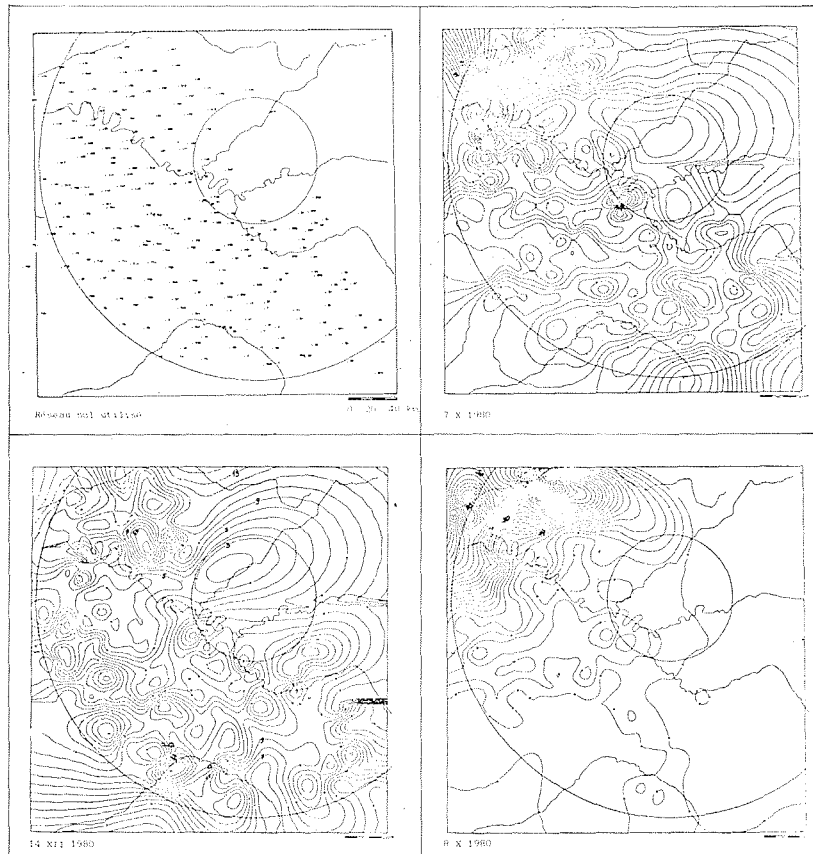


Figure 6 – Cartes de la pluie au sol mesurée par le réseau complet de 236 stations.

≡ échos de sol  
= Marques

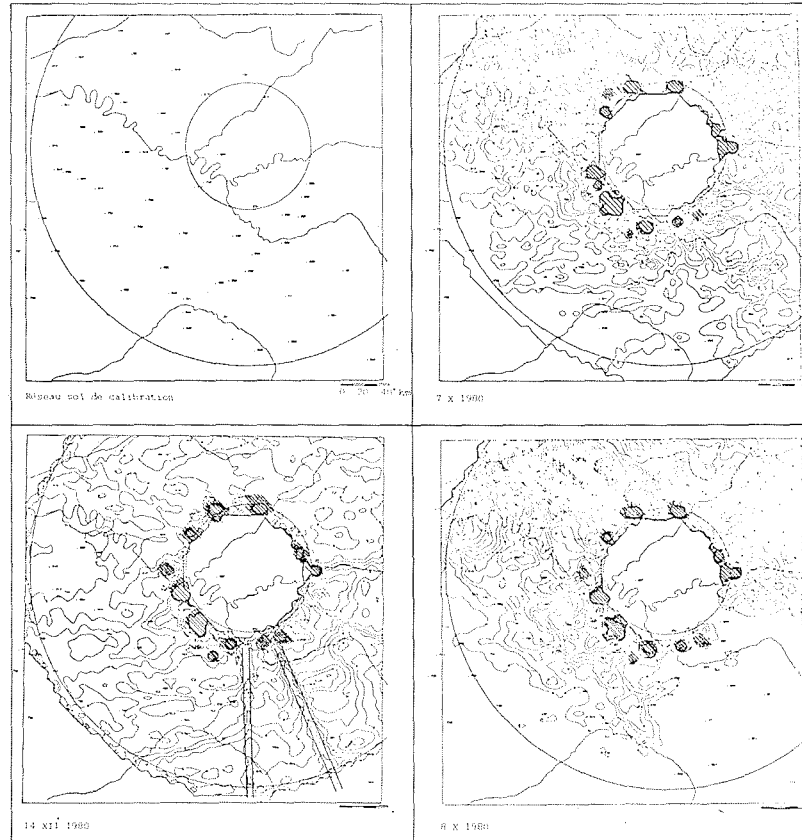


Figure 7 – Cartes de la pluie mesurée par radar

de stations devrait permettre une calibration uniforme acceptable.

## 5. Pluies journalières

La densité assez forte du réseau de pluviomètres (un appareil pour 200 km<sup>2</sup> environ) nous a permis de réaliser l'expérience suivante : nous avons choisi arbitrairement<sup>(2)</sup> 64 stations de calibration réparties de manière uniforme sur la moitié sud-ouest de la couronne radar ; les 172 stations restantes ont été utilisées pour évaluer la qualité ponctuelle de la mesure radar en comparant les valeurs mesurées au sol à celles des pixels contenus dans un rayon de 3 km à la verticale de la station.

Les résultats que nous allons détailler ci-dessous sont regroupés dans le Tableau I où, pour chaque journée et chaque méthode de calibration, nous donnons pour les stations disponibles du réseau test la moyenne et le coefficient de variation des valeurs sol et radar, le coefficient de corrélation entre ces valeurs.

### 5.1. "Calibration uniforme"

Le coefficient de corrélation  $r(s_j^*, s_j)$  entre les valeurs  $s_j^*$  radar calibré et les valeurs  $s_j$  mesurées par les pluviomètres n'est pas sensible aux trois types de calibration testés. En effet, un facteur multiplicatif ne change pas la corrélation, une droite de régression la modifie peu (et apparemment plutôt en baisse). Par contre, il apparaît que les moyennes et les coefficients de variation après calibration sont plutôt mieux reconstituées à l'aide de la droite de régression.

### 5.2. Calibration "régionalisée"

La figure 4 présente les cartes des rapports  $s_i/r_i$  pour les trois journées étudiées.

Pour les 2 journées d'octobre 1980, les fluctuations (de 1 à 15) de ces rapports sont assez bien organisées à grande échelle : dans les zones affectées par la pluie existe une croissance du centre de la couronne vers la périphérie.

La journée du 14 décembre 1980 au contraire ne permet pas de dégager de telles variations ; les rapports fluctuent en fait dans une fourchette beaucoup plus étroite (1 à 5) au point que la surface marque une oscillation selon l'azimut N160E où se trouve un masque radar.

Ces cartes ont été obtenues par calage d'une fonction spline sur les valeurs  $s_i/r_i$  aux 64 stations de calibrage. Il était alors possible d'estimer  $(s_j/r_j)^*$  aux 172 points test  $j$  par interpolation spline et de procéder à la calibration décrite au paragraphe II.2.

Les coefficients de corrélation  $r(s_j^*, s_j)$  obtenus avec ce type de calibration sont nettement meilleurs que pour une calibration uniforme pour les deux journées d'octobre et sensiblement identique pour le 14/12/80. La différence de nature de ces surfaces (notée ci-dessus)

(2) En fait, nous avons retenu les stations équipées de pluviographes.

est en liaison avec ce résultat ; il nous paraît difficile de donner une explication des mécanismes de succès ou d'échec de cette calibration à partir de ces trois exemples.

### 5.3. Résultats obtenus par interpolation des seules mesures sol

Afin de situer la qualité de reconstitution du radar par rapport aux techniques classiques d'interpolation, nous avons calé des fonctions spline sur les 64 stations de calibration pour les 3 journées disponibles (Fig. 5).

Les valeurs  $s_j^*$  ainsi reconstituées sont aussi proches — au sens de la corrélation et de la moyenne — des valeurs mesurées que *notre* meilleure reconstitution radar pour les deux journées d'octobre et plus proche pour la journée de décembre.

### 5.4. Comparaison qualitative des différentes images radar et sol

Les bons résultats fournis par l'interpolation spline ne doivent pas faire perdre de vue l'allure très lisse donc peu réaliste qu'elle donne de ces pluies journalières. Afin d'illustrer cette remarque, nous avons cartographié les trois champs de pluie à l'aide du réseau complet de 236 stations (Fig. 6) et à l'aide de l'image radar calibrée uniformément (Fig. 7) ; il est alors évident que seul un réseau très dense permet d'obtenir une image de la pluie de complexité analogue à celle du radar.

## 6. Conclusion

Ces premiers résultats ne peuvent à l'évidence conduire à aucune conclusion définitive.

L'obtention de nouvelles données radar, l'élargissement du réseau de pluviographes vont nous permettre de rendre plus systématiques, donc plus fiables les quelques essais présentés ci-dessus ; la reproduction sur des pluies horaires du traitement appliqué ici aux pluies journalières devrait nous permettre de valider plus objectivement les différents types de calibration.

Enfin, il sera nécessaire de passer des estimations ponctuelles considérées ici à des estimations spatiales de lames d'eau plus conformes aux besoins hydrologiques.

## Références bibliographiques

- [1] BRANDES E.A. — Optimizing rainfall estimates with the aid of radar *J. of Appl. Meteor.* 14, p. 1339-1345, 1975.
- [2] CREUTIN J.D., OBLED Ch., TOURASSE P. — Analyse spatiale et temporelle des épisodes pluvieux cévenols. Numéro spécial "*La Météorologie*", Nov. 1980.
- [3] FROMENT G. — Projet hydromel : bilan des observations, résultats actuels. Note EERM, Météorologie nationale. 1976.
- [4] GILLET M., OLIVIERI J., GAILLARD G. — La chaîne d'acquisition radar "saphyr". "*La Météorologie*" VI<sup>e</sup> série n° 23, Déc. 1980.
- [5] WILSON V.W., BRANDES E.A. — Radar measurement of rainfall. *J. of Appl. Meteor.* 14, p. 909-926, 1979.

## Discussion

Président : R. HLAWEK

*Le Président.* – Je remercie M. CREUTIN et je donnerai la parole aux assistants qui souhaitent intervenir pour les questions traditionnelles.

*M. MAZAUDOU.* – J'aimerais savoir comment vous avez fait pour choisir les 64 stations tests. Avez-vous fait varier la répartition spatiale ?

*M. CREUTIN.* – Non. Nous les avons choisies de façon tout à fait arbitraire. On a pris les stations qui étaient équipées de pluviographes. On s'est placé dans une situation opérationnelle hypothétique, où l'on n'aurait pas la possibilité de centraliser de façon même journalière la totalité du réseau. Avec les pluviographes, on avait une densité à la fois suffisante pour améliorer nos images correctement et pour garder un réseau test qui soit suffisamment fourni pour donner une appréciation valable de la qualité des résultats obtenus.

*M. AMAYENC.* – Les résultats que vous avez montrés sont très encourageants, compte tenu du fait que vous êtes dans des conditions très difficiles pour faire de l'hydrologie avec un radar qui travaille à partir de 50 km, avec ouverture de faisceau de  $1,8^\circ$ , c'est-à-dire qu'à 60 km, vous avez intégré déjà 2 km d'altitude. Je suis certain que ce type de méthode appliquée pour des portées qui commencent près du radar et jusqu'à une centaine de km a beaucoup d'avenir. Mais dans une vue que vous avez projetée, on voit bien qu'il y a des facteurs de pondération qui dépendent fortement de la distance radiale ; c'est certainement dû en grande partie au fait qu'on est en altitude et qu'il y a un élargissement du lobe d'antenne à grande distance.

*M. CREUTIN.* – On n'a pas eu d'explications communes aux trois cas que l'on a traités. Si pour les deux journées d'octobre on peut noter l'effet que vous décrivez, la journée du 14 décembre sort de ce schéma. L'échantillon de trois journées dont nous disposons est certainement trop réduit pour apporter une réponse définitive.

*M. JACQUET.* – Je voudrais poser deux questions :

Avez-vous cherché à regarder le coefficient de corrélation sur la partie la plus proche de la couronne, ou en séparant les zones avec et sans masque ?

Dans quel type de situation vous trouviez-vous pour ces trois journées ?

*M. CREUTIN.* – Ce sont des périodes de l'année où l'on a de grandes perturbations qui passent de façon très uniforme ; ce n'est pas du tout convectif.

En ce qui concerne la première question, nous n'avons pas encore eu le temps de regarder les coefficients de corrélation par secteurs.

*M. LEHUCHER.* – J'aimerais savoir si l'on s'est aperçu que la valeur au sol et celle prévue par le radar s'écartaient notablement. Est-ce que ce serait une méthode critique d'un réseau au sol ?

*M. CREUTIN.* – L'expérience a été faite sur 3 journées. Vous avez vu les deux journées du 7 et 8 octobre ; en Seine-Maritime, on avait eu des précipitations d'environ 60 mm par jour, au moins la deuxième journée ; la station du Tréport donne la valeur de 13 mm. Toutes les autres techniques, que ce soit le radar ou la fonction Spline, ont donné 59, 60, 65. Que faut-il en penser ? Je l'ignore.

J'en reviens à ce que disait M. BEDIOT ce matin à propos des schémas de pensée que l'on a lorsqu'on fait une critique des données d'enregistrement de pluie. Je n'ai pas vraiment d'idées à ce sujet ; je ne sais pas dans le cas présent s'il faut supprimer la donnée du Tréport, s'il faut le multiplier par 6 pour avoir quelque chose de plausible. Ce qui m'a paru un peu troublé, c'est que le radar, lui aussi, voit beaucoup sur Le Tréport ce jour-là.

*Le Président.* – Je voudrais poser une question qui a été soulevée par M. ESTIENNE et qui rejoint l'intervention de M. BEDIOT.

On parle de retour au terrain, même de vérité-terrain. Je me demande si l'on ne fait pas trop état du terrain, parce que la mesure par les pluviographes a, elle aussi, ses propres limites, ses propres dispersions.

Je pense à des travaux déjà anciens, où l'on avait fait des mesures sur l'intensité de la pluie. Ce matin, on a cité des travaux de tarage faits à Grèzes. Il y a une grande dispersion des mesures pluviographiques. De toute façon, il y a distorsion entre ces mesures, car il y en a une qui intègre une surface de 200 cm<sup>2</sup> et l'autre qui intègre des km<sup>2</sup>. Il y a là une ambiguïté qu'il faudrait peut-être souligner, et, en tout cas, il ne faudrait pas utiliser le terme de vérité-terrain pour des données que l'on ne peut pas considérer comme une vérité.

*M. GILET.* – Au lieu d'une interpolation Spline passant par tous les points de mesure, une façon de prendre en compte les incertitudes de mesures serait plutôt d'utiliser une technique de krigeage.

*M. CREUTIN.* – J'ai essayé de construire des variogrammes expérimentaux sur la surface des rapports S/R, des variogrammes sur la surface de pluie mesurée par les 64 stations et des variogrammes sur des surfaces de pluie mesurées par les deux méthodes sur la totalité du réseau. C'est assez déroutant. J'ai essayé de réfléchir à ce sujet. Pour la journée qui a été présentée, on a des effets de pépite absolument pure pour la surface des rapports S/R ; on a une pépite quasiment pure pour le phénomène lui-même.

Que donnerait une interpolation par krigeage, de la surface S/R avec une pépite pure dans l'hypothèse d'une dérive constante ? Cela donnerait une valeur uniforme. On revient au cas précédent de calage uniforme, ce sera moins bon.

Avec une dérive de nature polygonale, on va caler grossièrement dans la cuvette quelque chose qui se rapprochera un peu de ce que l'on a fait avec les surfaces Spline. Je ne pense pas qu'on obtienne quelque chose de bien fameux, mais ce ne sont que de premiers résultats. Peut-être qu'en deuxième analyse, en regardant bien finement, on arriverait à avoir quelque chose. Je ne le sais encore pas.

*M. OBLED.* – A ce propos, il faut éviter de retomber dans des querelles de chapelle, l'un jouant par le krigeage, l'autre par les fonctions Spline, etc. . . A ce propos, il suffit de se reporter à des résultats théoriques récents obtenus par le Professeur MATHERON, et qui montrent que le lissage Spline n'est autre qu'un krigeage, réalisé avec un variogramme imposé de la forme  $h^2 \log h$ , assez particulier, mais pas irréaliste pour le phénomène pluie. Les techniques de krigeage, prises au sens large, englobent donc pratiquement toutes les techniques "optimales" couramment utilisées, et en particulier toute "l'analyse objective" familière aux météorologistes. Sur le plan pratique, des essais systématiques effectués par M. CREUTIN ont montré que ces diverses techniques, appliquées à des champs de pluie, donnaient des résultats très voisins. Nous avons donc retenu celle qu'il nous était le plus facile de mettre en oeuvre.

De plus, cette famille de techniques se rattachant au concept de "variables régionalisées" fournit des sous-produits intéressants. C'est ainsi qu'après avoir identifié la fonction de structure, on peut appliquer des techniques d'optimisation du réseau et définir les endroits où il faudrait ajouter une station, ceux où l'on pourrait en abandonner une, etc. . . Voilà donc pour ce qui est des techniques.

En ce qui concerne les données, je voudrais faire une remarque générale concernant le matériau disponible pour ce type d'étude. Pour le radar MELODI de Dammartin, nous n'avons pu trouver que trois journées complètes où l'on puisse cumuler les



images et les comparer aux données journalières du réseau. Un autre radar comme celui de Grèzes tourne depuis 1965 sans laisser derrière lui d'images vraiment exploitables en différé. Je voudrais donc plaider pour un archivage le plus systématique possible des images radar afin de constituer des séries longues sur lesquelles nous pourrions faire de la recherche, et obtenir des résultats plus robustes.

C'est un peu comme si, depuis 10 ans, on avait la télévision (le scope radar), mais pas le magnétoscope, avec toutes ses possibilités de ralenti, d'accélération, d'arrêt sur image pour réanalyser les situations passées. J'espère donc qu'en développant le réseau radar, on n'oubliera pas d'y associer l'archivage sur support magnétique.

*M. DAVID.* – Quelle calibration de radar avez-vous utilisée et avez-vous tenu compte des lois générales d'atténuation, de diminution de la puissance reçue en fonction de la distance ?

*M. CREUTIN.* – Sur les indications de Marc GILET, nous utilisons une correction à partir de la distance de 100 km. Mais

on espère, suivant le type de traitement que l'on fait, s'il y a une atténuation systématique en fonction de la distance, qu'elle sera récupérée par la calibration. Maintenant, s'il existe des formules permettant d'intégrer l'effet de l'atténuation de manière systématique sur des images, quelle que soit la situation et quelle que soit la configuration du champ de pluie, nous sommes très intéressés.

*M. DAVID.* – De plus, on ne tient jamais compte, dans la correction faible, de l'atténuation par les gaz qui est constante et qui fait que la puissance s'atténue très lentement. Mais, dans votre cas, je pense que c'est surtout sur des précipitations d'hiver un effondrement de la capacité de détection au-delà de 100 à 120 km, que l'on observe très facilement quand on fait des cumuls sur tout un passage pluvieux en fonction de la distance, sauf quand on est en région de montagne, avec des sommets relativement élevés.

*Le Président.* – Je remercie M. CREUTIN de sa communication très claire.

### Abstract

#### Calibration of a meteorological radar for measuring precipitation Initial results in the Paris region

The object of this study is to examine all the possibilities of quantitative precipitation estimation by use of a meteorological radar.

We have based our researches on reflectivity data from the Dammartin-en-Goëlle radar (10 cm) and measurements of precipitation intensity from rain-gauge recordings and rain-gauges in the Paris area.

Hourly comparisons taken at random (53 stations) between radar hyetographs and rain-gauges recordings have made it possible to highlight several problems encountered in radar measurement (the importance of the Z-R (Marshall-Palmer) relationship, ground echoes, masking effects, distance effects on the radar, uniform calibration procedures) and to derive criteria concerning the choice of a minimum, representative calibration network.

We have also conducted initial tests to validate random

radar measurement (with uniform, regionalised calibration by a sub-network (64 stations)) with three days' uninterrupted operation of the radar and a dense network of rain-gauges (270). Reconstructed situations effected at points not used for calibration purposes were compared with the actual rain-gauge recordings.

For these three days only the regionalised calibration technique gave results equivalent to those from a conventional (Spline) interpolation method using the calibration sub-network only.

Only systematisation of the calibration and validation procedures described to other rain spells and for a more extensive network of recording rain-gauges can lead to definite conclusions. Special estimations of rainfall are also required and here a correctly calibrated radar should be more effective.