

## 0 – Chaîne de traitement pour la détection des anomalies de pluviomètres

Ces programmes, écrits en Python, ont pour objet de détecter des anomalies dans les cumuls pluviométriques d'un réseau de pluviomètres.

La période des cumuls de précipitations choisie est mensuelle. Elle permet en effet d'avoir des contrôles réguliers (12 fois par an) et évite les phénomènes de forte intensité locale en lissant les observations sur un mois.

Les anomalies potentielles des pluviomètres observés sont détectées en comparant leurs cumuls :

- entre pluviomètres voisins
- entre les pluviomètres et les radars de précipitations.

Les traitements débouchent sur une liste de pluviomètres pour lesquels les cumuls mensuels paraissent anormaux. Ce sont ces pluviomètres qu'il faudra vérifier et dépanner sur place.

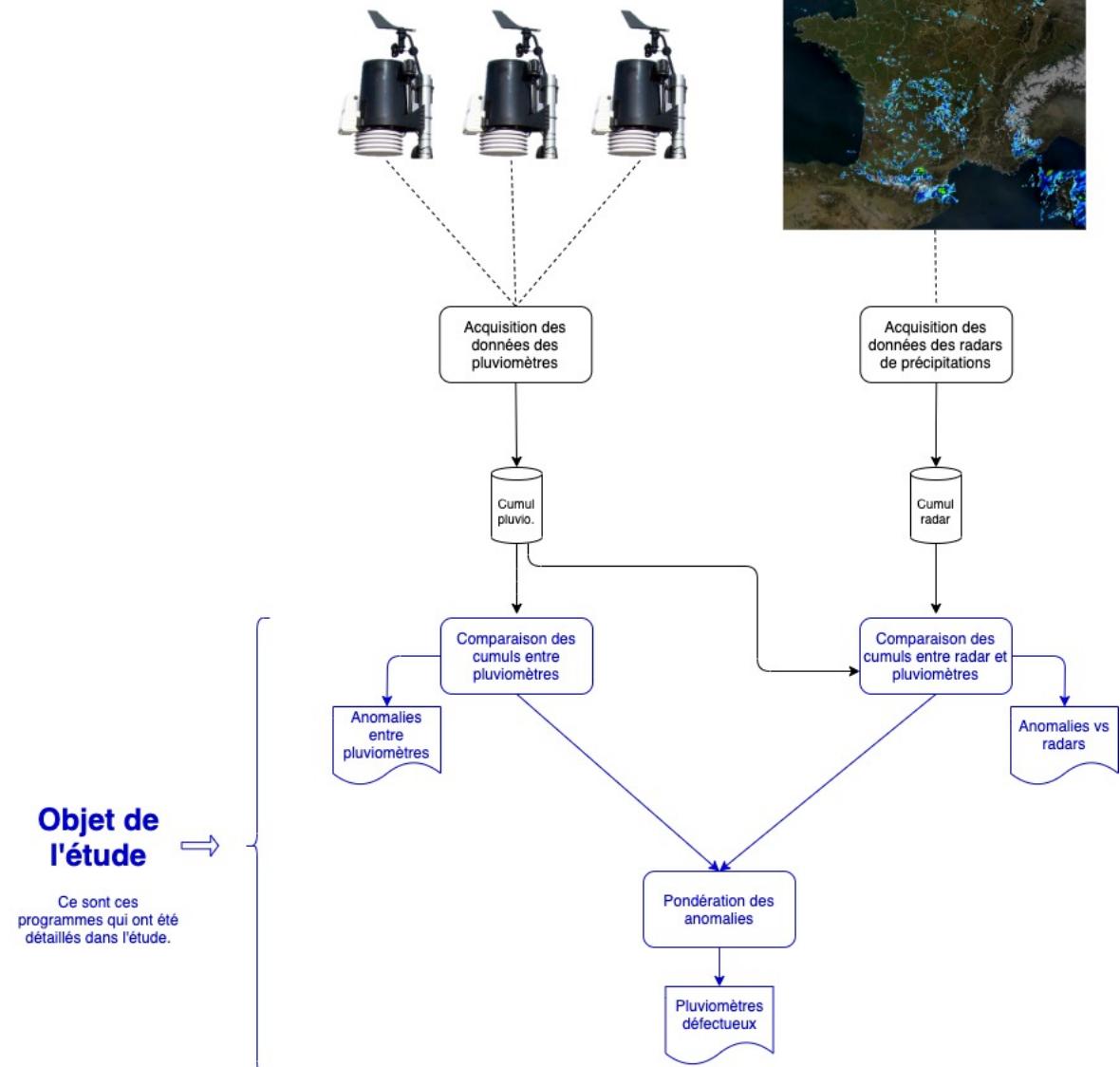
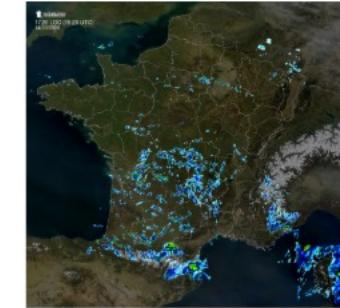
### Objet de l'étude

Ce sont ces programmes qui ont été détaillés dans l'étude.

Réseau de pluviomètres à contrôler



Radars de précipitations



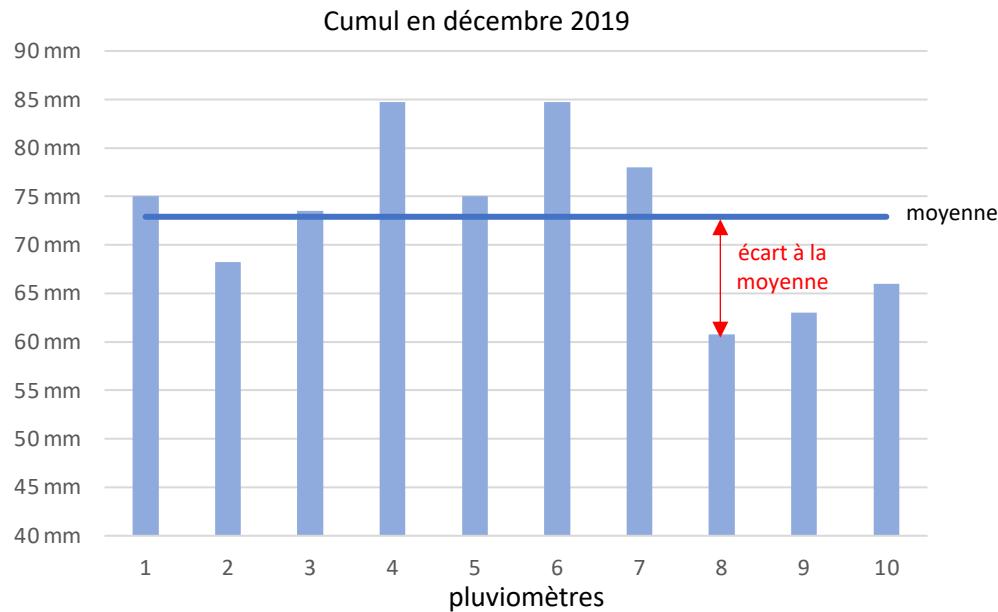
## 1 - Comparaison des cumuls entre pluviomètres

Un pluviomètre voisin est situé dans un rayon de moins de 5 km. Cette distance est paramétrable. Elle a été fixée pour tenir compte de la base des cumulonimbus qui font de 5 à 15 kilomètres de large.

Chaque pluviomètre est comparé à tous ses pluviomètres voisins. Le programme calcule la moyenne arithmétique des cumuls mensuels des pluviomètres voisins, et la compare au cumul du pluviomètre examiné.

Si l'écart en valeur absolue est supérieur à un seuil fixé à 10% le programme signale une anomalie. Ce seuil de 10% est lui aussi paramétrable.

On estime en effet que sur un mois complet, les précipitations sont homogènes dans un rayon de 5 kilomètres.



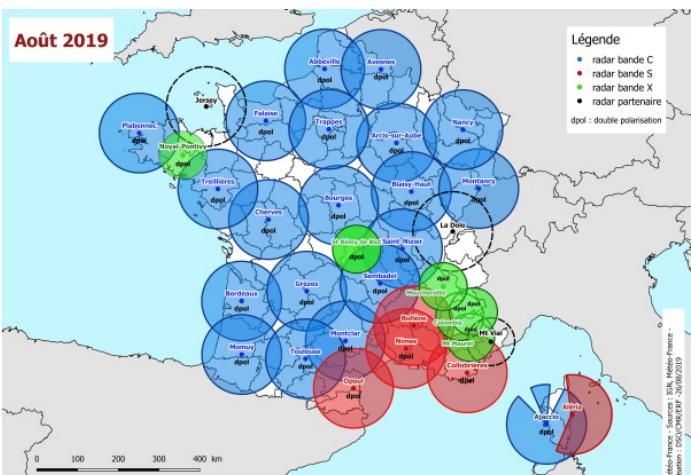
Carte des pluviomètres (fictifs) pour le jeu d'essai.  
Seul le pluviomètre numéro 1 existe. Les valeurs des autres pluviomètres ont  
été extrapolées aléatoirement à partir de celui-ci.

## 2- Comparaison des cumuls des pluviomètres avec ceux des radars

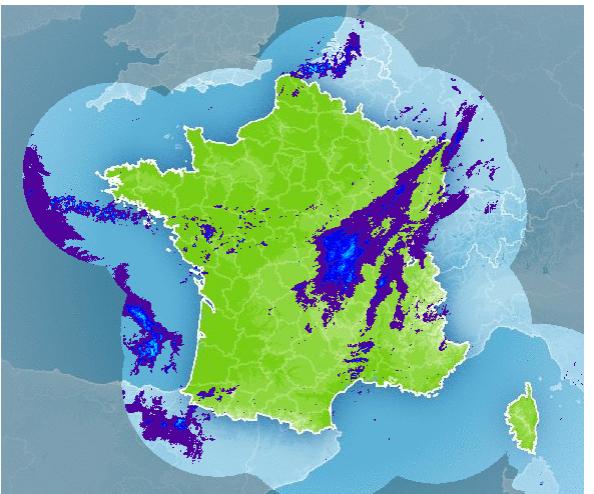
Le réseau des radars de précipitations de Météo France mesure les précipitations instantanées et calcule les cumuls sur différentes périodes. Météo France fournit des cumuls mensuels sous la forme d'une matrice où chaque carré fait 500 mètres de côté. Et seules les coordonnées GPS du 1<sup>er</sup> carré sont connues.

Pour chaque pluviomètre examiné, le programme détermine dans quelle ligne et dans quelle colonne de la matrice il se trouve. Pour ce faire il calcule la distance en kilomètres entre les latitudes et les longitudes du pluviomètre et de l'origine de la matrice.

Puis le programme fait une comparaison entre le cumul du pluviomètre et celui issu des radars. Si l'écart en valeur absolue est supérieur à un seuil de 10%, il signale une anomalie. Ce seuil de 10% est paramétrable.



Les radars de précipitations couvrent quasiment tout le territoire métropolitain.



Météo France fournit les cumuls mensuels issus des radars de précipitations avec un maillage de 500 mètres.

origine de  
la matrice

écart latitudes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	72	77	65	58	72	86	62	59	72	81	75	64	65	74	82	62	73	67	69	84	84	77	6	
2	70	82	73	69	87	70	69	84	61	65	65	65	67	82	67	83	58	77	79	74	70	81	8	
3	56	63	85	74	66	79	87	85	69	82	77	77	59	58	76	58	61	77	72	85	62	75	6	
4	73	79	86	71	84	72	77	85	77	60	64	68	73	66	83	81	64	76	69	65	60	73	5	
5	74	64	69	64	82	83	82	72	80	80	79	75	80	69	75	86	61	65	64	64	73	59	6	
6	65	81	72	73	69	73	66	62	74	71	74	70	59	62	76	82	75	86	86	66	69	75	7	
7	70	72	70	64	70	68	82	61	82	65	65	60	85	86	70	58	72	74	61	71	59	77	7	
8	75	61	67	80	78	62	81	75	58	77	63	82	77	62	75	77	77	78	59	67	85	86	6	
9	79	58	82	71	68	70	75	65	86	67	85	76	58	77	85	62	66	78	69	78	75	67	6	
10	68	70	82	61	64	83	59	86	81	86	80	85	69	85	67	70	70	70	70	70	82	81	7	
11	57	66	68	63	67	85	80	77	79	87	72	77	79	80	85	85	69	84	86	71	59	6		
12	79	61	71	59	79	84	80	63	72	83	64	75	70	69	64	74	59	80	62	72	84	75	6	
13	77	59	82	69	77	64	85	71	67	64	82	69	67	77	65	86	64	67	82	75	65	67	8	
14	62	61	86	64	80	82	59	73	82	70	84	80	65	87	82	77	84	9	62	75	84	69	72	8
15	78	82	80	59	58	60	61	80	83	60	82	83	75	67	80	81	85	62	76	70	78	64	6	
16	78	59	77	58	72	82	82	69	67	75	58	84	62	78	73	64	65	85	80	59	72	82	7	
17	79	72	75	82	61	79	74	71	83	62	69	63	77	82	59	84	78	65	82	77	70	68	8	
18	54	84	82	69	78	75	84	67	70	65	66	71	70	86	58	77	73	65	69	82	72	64	6	
19	62	80	87	85	59	75	75	67	63	62	82	71	82	80	87	78	62	86	69	84	63	77	6	
20	66	59	72	86	73	85	83	60	65	69	78	75	75	68	61	64	83	62	64	62	82	61	8	
21	70	77	82	72	75	63	73	83	75	77	85	78	67	64	87	67	72	87	82	68	67	88	7	
22	65	77	82	58	69	66	83	67	73	83	75	77	85	78	80	87	67	74	82	67	82	68	7	
23	80	63	77	67	75	80	77	70	72	74	80	80	82	77	60	85	59	67	71	74	62	60	7	
24	75	63	86	69	74	81	82	78	64	59	87	77	58	62	77	62	63	79	87	59	84	62	8	
25	74	69	65	64	84	63	85	82	64	66	61	80	77	69	72	82	65	74	77	69	77	71	6	
26	66	66	65	77	60	75	58	73	77	66	74	85	64	59	66	83	78	68	67	67	74	82	6	
27	55	75	68	86	65	84	75	62	77	80	79	83	67	75	61	85	87	68	59	82	80	7		
28	74	64	69	62	83	61	71	61	65	79	70	69	71	78	60	62	80	83	64	85	79	7		
29	58	67	75	60	64	64	64	64	65	59	61	82	79	63	67	77	60	75	80	59	82	7		
30	57	64	67	73	65	80	72	71	87	63	78	80	72	80	61	67	59	64	66	81	78	64	6	
31	60	77	72	82	66	77	77	82	75	72	63	67	84	82	82	80	82	76	58	72	80	86	6	
32	67	82	62	68	62	72	86	85	83	77	82	84	75	69	64	71	85	82	68	83	71	62	8	
33	68	80	64	75	86	85	60	80	75	78	83	60	75	68	62	87	59	80	79	81	85	8		
34	74	65	72	79	76	81	62	70	73	85	83	85	80	64	78	71	81	63	83	69	59	59	6	
35	56	67	68	70	80	67	80	83	82	69	72	82	69	69	62	74	77	75	85	64	86	62	6	

Matrice des cumuls de précipitations (issus des radars de précipitations) fournie par Météo France.

Les valeurs utilisées pour le jeu d'essai sont des valeurs extrapolées aléatoirement à partir de celles du pluviomètre numéro 1.

### 3 – Pondération des anomalies détectées

Les anomalies potentielles détectées par les programmes précédents sont de 2 natures:

- écart entre pluviomètres voisins (moins de 5km, seuil de 10%)
- écart entre les pluviomètres et les radars de précipitations (seuil de 10%)

Le programme affecte un poids à chaque type d'écart :

- entre pluviomètres voisins : 6 (comparaison très pertinente)
- entre pluviomètres et radars : 3 (comparaison pertinente)

La somme des écarts pondérés est ensuite ramenée à un pourcentage global. Si sa valeur absolue dépasse le seuil de 10% le pluviomètre est considéré comme étant en défaut.

$$Ecart_g = (6 * Ecart_p + 4 * Ecart_r) / 10$$

La pondération a été paramétrée de façon empirique. En effet les données contenues dans le jeu d'essai sont plausibles, mais ne représentent pas la réalité. Les différents poids et seuils devront être corrigés au fur et à mesure des tests ou du déploiement en vraie grandeur.

\*\*\*\*\*  
pondération des anomalies  
\*\*\*\*\*

--- Résumé des anomalies ---

Pluviomètre	anomalie pluviomètres	anomalie radars
1.0	False	False
2.0	True	True
3.0	False	True
4.0	True	False
5.0	False	True
6.0	True	True
7.0	False	False
8.0	True	False
9.0	False	True
10.0	False	True

--- Résumé des écarts ---

Pluviomètre	écart % pluviomètres	écart % radars
1.0	0.032	0.0149
2.0	0.1588	0.2364
3.0	0.0486	0.2368
4.0	0.1078	0.0143
5.0	0.0019	0.2405
6.0	0.1078	0.1077
7.0	0.047	0.05
8.0	0.1311	0.0267
9.0	0.0079	0.1486
10.0	0.0455	0.3103

--- Anomalies pondérées ---

Pluviomètre	écart pondéré %	anomalie pondérée
1.0	0.0252	
2.0	0.1898	défaut pluviomètre
3.0	0.1239	défaut pluviomètre
4.0	0.0704	
5.0	0.0973	
6.0	0.1078	défaut pluviomètre
7.0	0.0482	
8.0	0.0894	
9.0	0.0642	
10.0	0.1514	défaut pluviomètre

Résultat final du programme de pondération

## Annexe – calcul de distance entre des latitudes et des longitudes

Les 3 programmes python de détection des anomalies utilisent la même fonction de calcul de distance entre 2 points connus en longitude et latitude.

```
distance(longitudePointA, latitudePointA, longitudePointB, latitudePointB)
```

Cette fonction renvoie une distance en kilomètres. Elle est inspirée de la définition du Service de Géodésie et de Métrologie de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) :

« La géodésique est la trajectoire correspondant à la distance minimale entre deux points sur une surface. Dans le cas de la sphère, c'est un arc de grand cercle.

Connaissant la position de deux points A et B sur une sphère, calculer la distance entre eux revient donc à calculer l'abscisse curviligne S (AB) sur le grand cercle passant par A et B.

Si l'on considère deux points A et B sur la sphère, de latitudes  $\varphi_A$  et  $\varphi_B$  et de longitudes  $\lambda_A$  et  $\lambda_B$ , alors la distance angulaire en radians  $SA-B$  entre A et B est donnée par la relation fondamentale de trigonométrie sphérique, utilisant  $d\lambda = \lambda_B - \lambda_A$  :

$$SA-B = \text{arc cos} (\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos d\lambda)$$

La distance S en mètres, s'obtient en multipliant  $SA-B$  par un rayon de la Terre conventionnel (6 378 137 mètres par exemple). »

