

EXPOSITION ET  
MILIEUX  
ENVIRONNEMENTAUX

JUIN 2024

ÉTUDES ET ENQUÊTES

UTILISATION D'UN INDICATEUR  
PLUVIOMÉTRIQUE POUR  
L'IDENTIFICATION D'UN CONTEXTE  
FAVORABLE À LA SURVENUE D'UNE  
ÉPIDÉMIE DE GASTRO-ENTÉRITE AIGUË  
D'ORIGINE HYDRIQUE

Étude exploratoire

RÉGION

OCCITANIE

## Résumé

### Utilisation d'un indicateur pluviométrique pour l'identification d'un contexte favorable à la survenue d'une épidémie de gastro-entérite aiguë d'origine hydrique. Étude exploratoire

Le dispositif EpiGEH surveille les épidémies de gastro-entérites aiguës (GEA) d'origine hydrique. Il croise les données du Système national des données de santé de l'Assurance maladie (SNDS) avec la carte des unités de distribution (UDI) d'eau potable en France pour repérer les épidémies de GEA potentiellement liées à la contamination de l'eau du robinet. La contamination de l'eau distribuée peut, dans certains cas survenir à la suite de fortes précipitations qui entraînent des ruissellements pouvant s'accompagner d'une augmentation de la charge en agents pathogènes dans les eaux brutes.

L'objectif de cette étude était de proposer une méthodologie de construction et d'évaluation d'un indicateur et d'une alarme pluviométrique prédictifs d'un risque épidémique à partir des données d'épidémies d'origine hydrique investiguées ; et sur cette base d'identifier parmi les signaux du dispositif EpiGEH, ceux pour lesquels l'influence de la pluie était plausible.

Les données de 30 épidémies de GEA d'origine hydrique confortées par une investigation de terrain et survenues entre 2010 et 2021 ont été utilisées pour sélectionner l'indicateur pluviométrique et calibrer l'alarme pluviométrique. Sur ces épidémies, l'influence de la pluie était considérée comme plausible (alarme positive) lorsque l'indicateur pluviométrique estimé dépassait le 4<sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles.

L'indicateur pluviométrique a ensuite été appliqué aux 9 510 signaux du dispositif EpiGEH recensés entre 2010 et 2021. Les conditions d'alerte pluviométriques étaient remplies pour 3,5 % des signaux (n=312) avec un délai entre le début des pluies et les premiers cas (période d'exposition à la pluie) de quinze jours (respectivement 9,3 % des signaux (n=837) avec un délai de 21 jours). Les régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse, Occitanie et Auvergne-Rhône-Alpes étaient celles pour lesquelles la proportion de signaux associée à une alarme pluviométrique positive était la plus élevée (de 11,0 % à 14,5 %).

Pour les signaux concernés par une alarme positive, le délai moyen entre le dépassement du seuil de référence pluviométrique et l'apparition des premiers cas de GEA de l'épidémie détectée était de 5,4 jours.

La principale plus-value de ces analyses réside dans la possibilité d'identifier parmi les signaux détectés par le dispositif EpiGEH, ceux pour lesquels la vulnérabilité des systèmes de production d'eau potable aux précipitations a tenu un rôle déterminant. Les unités de distribution d'eau correspondantes devraient être traitées en priorité pour renforcer leur résilience face aux conditions météorologiques défavorables, afin de mieux sécuriser contre le risque épidémique. Des études plus poussées intégrant des données de type et d'occupation de sol seraient nécessaires pour affiner le lien entre la pluviométrie et le risque de survenue d'épidémies de GEA d'origine hydrique.

**MOTS CLÉS :** ÉPIDÉMIE, GASTRO-ENTÉRITE AIGUË, EAU POTABLE, PLUIE, CONTAMINATION BACTÉRIOLOGIQUE, EPIGEH

**Citation suggérée :** Pouey J, Mouly D. *Utilisation d'un indicateur pluviométrique pour l'identification d'un contexte favorable à la survenue d'une épidémie de gastro-entérite aiguë d'origine hydrique. Étude exploratoire.* Saint-Maurice : Santé publique France, 2024. 53 p. Disponible à partir de l'URL : [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)

ISSN : 2609-2174 – ISBN-NET : 979-10-289-0918-5 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE — DÉPÔT LÉGAL : JUIN 2024

## Abstract

### Use of a rainfall indicator to identify a context favourable to an epidemic outbreak of waterborne acute gastroenteritis. Exploratory study

The EpiGEH system monitors outbreaks of waterborne acute gastroenteritis (AGE). It cross-references data from the French National Health Insurance Data System (SNDS) with a map of drinking water distribution units in France to identify outbreaks of AGE potentially linked to contaminated tap water.

In some cases, contamination of distributed water can occur as a result of heavy rainfall leading to run-off, which can increase the pathogen load in raw water.

The aim of this study was to propose a methodology for constructing and evaluating a rainfall indicator and alarm to predict epidemic risk using data from investigated waterborne epidemics, and on this basis to identify those signals from the EpiGEH system for which the influence of rain was plausible.

Data from 30 outbreaks of waterborne AGE confirmed by field investigations and occurring between 2010 and 2021 were used to select the rainfall indicator and calibrate the rainfall alarm. For these epidemics, the influence of rain was considered plausible (positive alarm) when the estimated rainfall indicator exceeded the 4th quintile of monthly rainfall.

The rainfall indicator was then applied to the 9,510 EpiGEH signals identified between 2010 and 2021. Conditions for the rainfall alarm were met for 3.5% of signals (n=312) with a delay between the start of rainfall and the first cases (period of exposure to rain) of fifteen days (respectively 9.3% of signals (n=837) with a delay of 21 days). The regions of Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corsica, Occitania and Auvergne-Rhône-Alpes had the highest proportion of signals associated with a positive rainfall alarm (11.0% to 14.5%).

For signals with a positive alarm, the average time between the rainfall reference threshold being exceeded and the first cases of AGE detected in the outbreak was 5.4 days.

The main added value of these analyses lies in the possibility of identifying, among the signals detected by the EpiGEH system, those in which the vulnerability of drinking water production systems to rainfall played a decisive role. The corresponding water distribution units should be treated as a priority to strengthen their resilience to adverse weather conditions, in order to provide better protection against the risk of epidemics. Further studies incorporating data on land type and occupation would be needed to refine the link between rainfall and the risk of outbreaks of waterborne AGE.

**KEYWORDS:** EPIDEMIC, ACUTE GASTROENTERITIS, DRINKING WATER, RAIN, BACTERIOLOGICAL CONTAMINATION, EPIGEH

**Suggested citation:** Pouey J mouly d. *Use of a rainfall indicator to identify a context favourable to an epidemic outbreak of waterborne acute gastroenteritis. Exploratory study.* Saint-Maurice: Santé publique France, 2024. 53 p. Available at: [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)

ISSN: 2609-2174 – ISBN-NET: 979-10-289-0918-5 - PRODUCED BY THE COMMUNICATIONS DIVISION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE — LEGAL DEPOSIT: JUIN 2024

## Auteurs

Jérôme Pouey                      Santé publique France Occitanie  
Damien Mouly                      Santé publique France Occitanie

## Relecteurs

Patrick Monfort                      CNRS – HydroSciences Montpellier  
Laurence Ramalli                      Santé publique France Provence-Alpes-Côte d’Azur

## Remerciements

Pour leur appui à la réalisation de cette étude, nous souhaitons remercier Nathalie Franques (Bureau de la qualité des eaux, Direction générale de la santé), Marie Guichard et Lionel Petit (Pôle d’administration des données sur l’eau SISE-Eaux – Padse - Pôle Santé Environnement/Direction de santé publique, Agence régionale de santé Occitanie), Grégory Fiffre (Direction des services météorologiques, Météo-France), Lucien Vernezoul (stagiaire ingénieur météorologue à Santé publique France Occitanie de février à août 2022), Franck Golliot, Karine Laaidi et Julie Chesneau (Santé publique France, Pascal Beaudeau (épidémiologiste).

Nous remercions Météo-France et la Caisse Nationale de l’Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CNAMTS) pour leur collaboration et en particulier la mise à disposition des données nécessaires à la réalisation de cette étude.

## Acronymes

<b>ARS</b>	Agence régionale de santé
<b>BD Carthage</b>	Base de données sur la cartographie thématique des agences de l'eau
<b>CAP</b>	Captage d'eau
<b>DGS</b>	Direction générale de la Santé
<b>EDCH</b>	Eau destinée à la consommation humaine
<b>GEA</b>	Gastro-entérite aiguë
<b>GEAm</b>	Gastro-entérite aiguë médicalisée (avec achat de médicaments remboursés sur prescription médicale)
<b>EpiGEH</b>	Dispositif de surveillance des épidémies de gastro-entérite aiguë d'origine hydrique
<b>PSE</b>	Période supposée d'exposition
<b>Sandre</b>	Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau
<b>SI-EpiGEH</b>	Système d'information du EpiGEH
<b>SISE-Eaux</b>	Système d'information en santé-environnement sur les eaux d'alimentation
<b>SNDS</b>	Système national des données de santé de l'Assurance maladie
<b>STEU</b>	Station de traitement des eaux usées
<b>UDI</b>	Unité de distribution d'eau destinée à la consommation humaine
<b>VPP</b>	Valeur prédictive positive

## Définitions

**Captage d'eau (CAP) (ou point de captage)<sup>1</sup>** : ouvrage permettant le prélèvement d'eau brute dans le milieu naturel. Il existe des captages d'eau souterraine (forage, drain, puits, source, etc.) et des captages d'eau superficielle (ou prises d'eau superficielle)

**Station de traitement d'eau<sup>1</sup>** : installation permettant de décrire et de caractériser les opérations subies par l'eau depuis son extraction de la ressource naturelle jusqu'au point de mise en distribution dans le réseau.

**Unité de distribution d'eau (UDI)<sup>1</sup>** : notion désignant le réseau ou la partie physique du réseau de distribution délivrant une eau de qualité homogène.

**Bassin-versant<sup>2</sup>** : un bassin-versant correspond à l'ensemble de la surface qui reçoit les eaux qui circulent vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine. Il se délimite par des lignes de partage des eaux entre les différents bassins. Ces lignes de partage sont des frontières naturelles qui correspondent aux lignes de crêtes. La pluie qui tombe d'un côté ou de l'autre de cette ligne de partage alimentera deux bassins-versants situés côte à côte.

---

<sup>1</sup> Source : L'alimentation en eau potable, Ministère du travail, de la santé et des solidarités, <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/article/l-alimentation-en-eau-potable>

<sup>2</sup> Source : le centre d'information sur l'eau, [www.cieau.com](http://www.cieau.com)

# Table des matières

Résumé.....	2
Abstract.....	3
Auteurs.....	4
Relecteurs.....	4
Remerciements.....	4
Acronymes.....	5
Définitions.....	5
<b>1 Contexte.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Méthodes.....</b>	<b>8</b>
2.1 Type d'étude.....	8
2.2 Définition de la zone et de la période d'analyse.....	8
2.3 Données sources.....	8
2.4 Définition de la période supposée d'exposition.....	11
2.5 Construction de l'indicateur pluviométrique et définition des alarmes pluviométriques....	12
2.6 Sélection des paramètres de références pluviométriques.....	13
2.7 Analyses du délai entre le début des pluies et la survenue des premiers cas.....	14
<b>3 Résultats.....</b>	<b>15</b>
3.1 Construction de l'indicateur pluviométrique et choix des références pluviométriques à partir des épidémies de GEA documentées (Étape 1).....	15
3.2 Calcul de l'indicateur pluviométrique pour l'ensemble des signaux du dispositif de surveillance EpiGEH (Étape 2).....	16
<b>4 Discussion.....</b>	<b>20</b>
4.1 Principaux résultats.....	20
4.2 Limites de nos analyses.....	21
4.3 Plus-values des analyses et perspectives.....	23
<b>5 Conclusion.....</b>	<b>24</b>
<b>6 Références.....</b>	<b>25</b>
<b>7 Annexes.....</b>	<b>26</b>
Annexe 1 : Liste des épidémies de GEA d'origine hydrique identifiées par Santé publique France sur la période 2010-2021.....	26
Annexe 2 : Synthèse des données concernant les indicateurs pluviométriques estimés sur 21 jours et références pluviométriques au 4 <sup>e</sup> quintile des précipitations normales mensuelles ..	31
Annexe 3 : Description des alarmes pluviométriques estimées pour les épidémies investiguées ...	49

# 1 CONTEXTE

En 2019, Santé publique France déployait, avec l'appui de la Direction générale de la santé (DGS) et des agences régionales de santé, EpiGEH, un dispositif de surveillance des épidémies de gastro-entérites aiguës (GEA) d'origine hydrique, c'est-à-dire liées à la consommation d'eau du robinet, ainsi qu'un système d'information spécifique consacré à cette surveillance, le SI-EpiGEH (1).

Ce dispositif repose sur la détection spatio-temporelle des cas groupés de GEA médicalisés (GEAm, c'est-à-dire avec achat de médicaments remboursés sur prescription médicale) à partir des données du Système national des données de santé de l'Assurance maladie (SNDS)<sup>3</sup>. Croisés avec les contours géographiques des unités de distribution d'eau (UDI) via la [base SISE Eaux](#) de la DGS<sup>4</sup>, ces cas groupés constituent des signaux représentant chacun une épidémie de GEAm potentiellement d'origine hydrique. Afin de conforter l'origine hydrique de ces signaux, des investigations épidémiologiques et environnementales sont réalisées par Santé publique France et les agences régionales de santé (ARS).

La validation d'une origine hydrique est en particulier conditionnée à la réalisation d'une enquête environnementale détaillant : (i) les caractéristiques des UDI impliquées en termes de vulnérabilités connues (au niveau des captages par exemple), (ii) les dysfonctionnements observés sur la filière les semaines précédant la survenue des premiers cas (retours d'eaux usées, défauts de chloration...) et (iii) d'autres événements extérieurs ayant pu constituer un contexte défavorable (travaux sur réseau, événements météorologiques...). Sur ce dernier point, des conditions pluviométriques extrêmes, telles que celles observées lors de forts orages, sont susceptibles d'affecter ponctuellement la qualité de l'eau des ressources, de générer une dégradation des paramètres de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) (turbidité, contamination microbiologique, caractéristiques organoleptiques notamment) et de constituer un contexte favorable à la survenue d'épisodes de cas groupés de GEA parmi les populations consommant de l'eau du robinet issue des ressources altérées (2-4).

Dans le cadre du dispositif de surveillance EpiGEH, l'identification d'un épisode pluviométrique remarquable dans les jours précédant un signal donné est donc un argument en faveur d'une origine hydrique et ce signal doit être considéré comme prioritaire pour la réalisation d'une enquête environnementale. Les premières années de fonctionnement du dispositif EpiGEH ont mis en évidence le besoin de préciser les modalités de collecte des données de pluviométrie lors des enquêtes environnementales et de mieux définir la notion d'épisode pluviométrique remarquable pouvant entraîner la survenue de cas groupés de GEA d'origine hydrique.

Ainsi, Santé publique France est à l'initiative d'un partenariat démarré en 2022 avec Météo-France pour réaliser une étude qui visait à : (i) étudier la faisabilité de la construction d'indicateurs pluviométriques associés aux épidémies de GEA d'origine hydrique signalées et investiguées, (ii) identifier parmi ces indicateurs les références pluviométriques (seuils) prédictives du risque d'épidémies de GEA hydrique, (iii) identifier parmi l'ensemble des signaux du SI-EpiGEH ceux pour lesquels la présence d'une forte pluie était identifiable les jours précédant la survenue des cas groupés en utilisant ces indicateurs et ces références pluviométriques et (iv) analyser les délais entre le début des pluies et la survenue des premiers cas de GEA.

---

<sup>3</sup> Identification au niveau communal des patients ayant fait l'objet d'une prescription médicale par un professionnel de santé.

<sup>4</sup> Caractéristiques infra-communales des réseaux d'eau potable décomposés en unités de distribution.

## 2 MÉTHODES

### 2.1 Type d'étude

Il s'agit d'une étude écologique qui analyse le lien entre les épidémies de GEA d'origine hydrique et les événements pluvieux. Pour ce faire, il a été attribué aux UDI impliquées dans des épidémies des indicateurs de pluviométrie provenant des stations météorologiques situées sur le (ou les) bassin(s) versant(s) du (des) captage(s) (CAP) qui alimentent les UDI. Lorsqu'il n'y avait pas de station météorologique sur ces bassins-versants, la station la plus proche géographiquement du (des) CAP a été choisie.

L'étude a été menée en deux étapes :

- La première **se basait sur les épidémies de GEA hydriques investiguées de 2010 à 2021** par les ARS et Santé publique France et pour lesquelles l'influence de la pluie était pour la plupart explicitement documentée dans les rapports d'enquête, notamment lorsque celle-ci avait joué un rôle important. Elle avait pour objectif de valider la démarche méthodologique envisagée et consistait : (i) à calculer un indicateur pluviométrique correspondant à un cumul de pluies observées sur une période donnée et (ii) à identifier des références pluviométriques (seuils) au-delà desquelles l'influence de la pluie sur la survenue d'épidémies de GEA d'origine hydrique était considérée comme plausible ;
- La deuxième **se basait sur les signaux issus du dispositif EpiGEH** et pour lesquels l'influence de la pluie n'était pas renseignée. Elle avait pour objectifs : (i) de généraliser le calcul d'indicateurs pluviométriques suivant la méthodologie détaillée lors de la 1<sup>re</sup> étape aux signaux répertoriés dans la base de données du dispositif de surveillance (SI-EpiGEH) et (ii) d'identifier les signaux pour lesquels l'indicateur pluviométrique dépassait une référence pluviométrique donnée parmi celles définies à l'étape 1 (identification d'une alarme pluviométrique positive).

Au total, ces deux étapes nous ont permis, respectivement, de déterminer les paramètres optimaux de calcul et de tester les alarmes pluviométriques.

### 2.2 Définition de la zone et de la période d'analyse

La zone d'étude retenue correspond au **territoire français hexagonal**. La période d'analyse pour les données d'épidémies de GEA d'origine hydrique s'étend **du 1<sup>er</sup> janvier 2010 au 31 décembre 2021** (douze années).

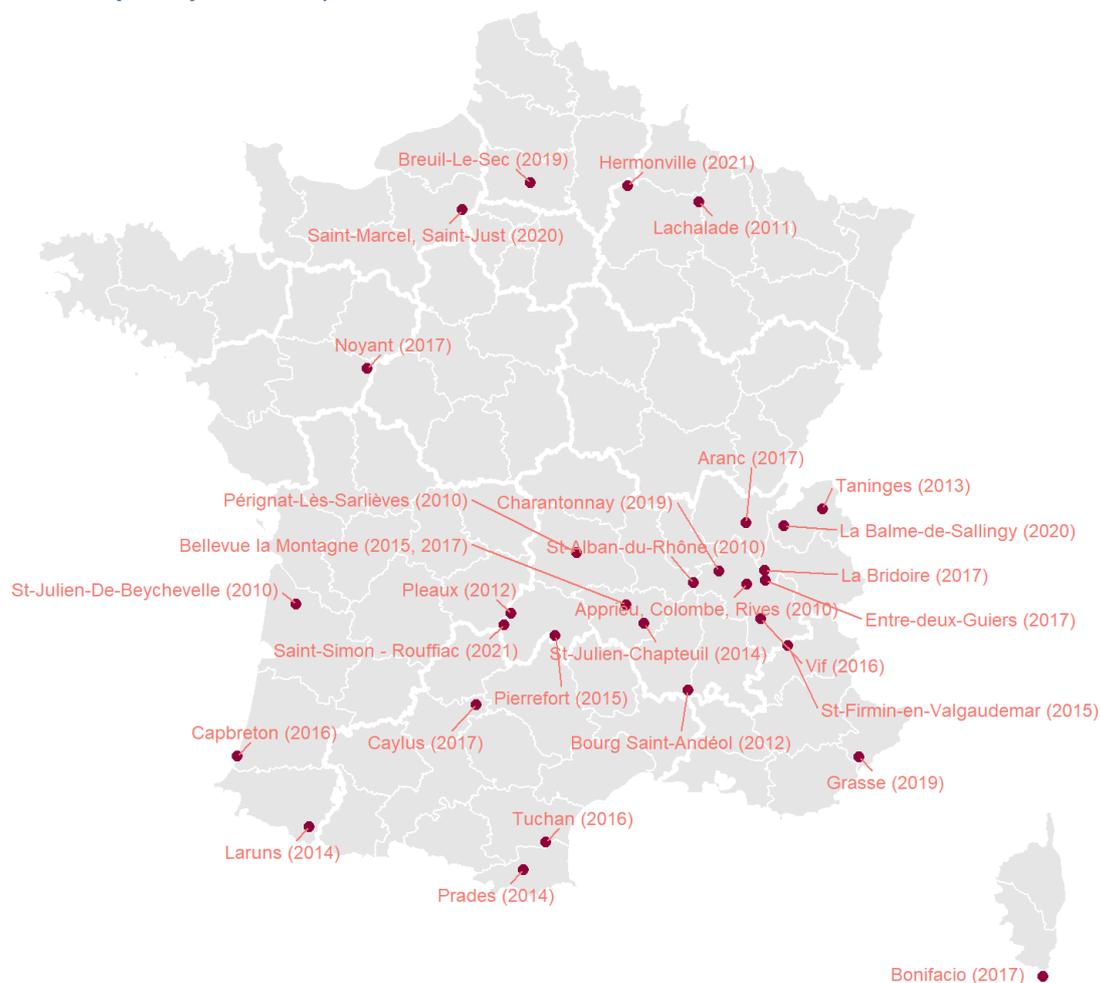
### 2.3 Données sources

#### 2.3.1 Données d'épidémies de GEA d'origine hydrique

##### 2.3.1.1 *Épidémies investiguées et identifiées par Santé publique France (Étape 1)*

De 2010 à 2021, 31 épidémies de GEA d'origine hydrique survenues sur le territoire hexagonal ont fait l'objet de signalements et d'investigations par les ARS, en lien ou non avec Santé publique France (Annexe 1, Tableau 2 en page 27) (5-12). Ces épidémies étaient réparties dans 21 départements et 17 d'entre elles se situaient en Auvergne-Rhône-Alpes (Figure 1). La surreprésentation de certaines régions s'explique par l'existence d'un risque épidémique accru en raison du contexte environnemental (zones montagneuses) et d'une sensibilité accrue des services chargés de la gestion du risque infectieux de l'eau destinée à la consommation humaine.

**Figure 1 : Localisation des épidémies de GEA d'origine hydrique investiguées entre 2010 et 2021 (source : Santé publique France)**



Un contexte pluviométrique considéré comme remarquable ou favorisant la contamination microbiologique des réseaux d'eaux avait été identifié pour la moitié des épidémies (N=15)<sup>5</sup> lors des enquêtes (précipitations prolongées sur plusieurs jours, fortes précipitations de type orageuses y compris en l'absence d'inondations). Pour les autres épidémies investiguées, et selon les informations disponibles dans les bilans d'investigations, l'origine de la contamination semblait strictement liée à des incidents sur le réseau (casses de canalisations, retours d'eau de station de traitement d'eaux usées - STEU) et il a été considéré par défaut que la pluie n'avait joué aucun rôle.

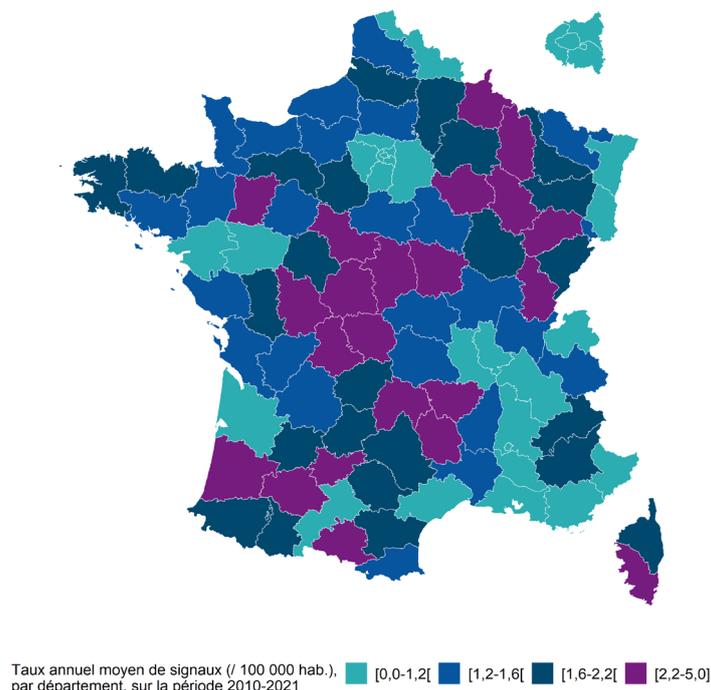
### 2.3.1.2 Signaux du dispositif de surveillance EpiGEH (étape 2)

Selon les données disponibles dans le SI-EpiGEH en janvier 2023, pour la période 2010-2021 et sur le plan hexagonal, 9 510 signaux de cas groupés de GEAm ont été détectés par le dispositif EpiGEH. Chacun de ces signaux est notamment caractérisé par une durée, une date de survenue des cas de GEAm, une liste d'UDI et de commune(s) concernée(s).

Ces signaux se répartissaient géographiquement de manière hétérogène sur le territoire avec un taux de signaux détectés de moins de 1 à 4,3 signaux par an pour 100 000 habitants (médiane à 1,6 signal par an pour 100 000 habitants) (Figure 2).

<sup>5</sup> Épidémies n°1, 2, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 19, 23, 27, 28 et 29 rappelées en annexes

**Figure 2 : Taux (pour 100 000 habitants) annuels moyens de signaux de cas groupés de GEA avec une origine hydrique possible, par département, sur la période 2010-2021 (source : SI-EpiGEH, Santé publique France)**



## 2.3.2 Données pluviométriques

### 2.3.2.1 Hauteurs de pluie observées

Les données utilisées pour la construction de l'indicateur pluviométrique correspondent aux hauteurs de pluie observées sur la zone et la période d'étude par les stations disposant d'un système automatique de mesure (types 0, 1 et 2) et certifiées par Météo-France (extraction ad hoc de la Climathèque, OkapiMet, mai 2022). Ces stations sont implantées de manière hétérogène sur l'ensemble du territoire et permettent de récupérer des données d'enregistrements automatiques *a minima* journalières.

Parmi les différentes informations disponibles, les données de précipitations journalières ont été utilisées pour le calcul de l'indicateur pluviométrique. Ces relevés correspondent à une hauteur de pluie, exprimée en millimètres, observée au-dessus d'une surface ronde de 10 cm de diamètre pour un jour J donné (de 7 heures le jour J à 6 heures le lendemain).

### 2.3.2.2 Références pluviométriques

Afin de caractériser l'importance d'un événement pluvieux, les « normales » estimées par Météo-France à partir des relevés d'observation pour chaque station ont été utilisées en tant que références pluviométriques. Elles sont construites en utilisant la moyenne des observations de précipitations sur une période qui peut être la journée (moyennes des observations sur une journée), une période décadaire (moyenne des observations quotidiennes sur dix jours), le mois calendaire (moyenne des 28, 29, 30 ou 31 observations moyennes quotidiennes), l'année (moyenne des 365 ou 366 moyennes quotidiennes) ou la décade (dix années).

Le millésime 2022 des moyennes, médianes et 4<sup>e</sup> quintile des normales mensuelles calendaires estimées sur la période de 1990 à 2020 a été utilisé pour nos analyses.

### 2.3.3 Données des bassins-versants/zones hydrologiques

Les données du Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (Sandre) ont été utilisées pour l'identification des liens entre les bassins-versants des captages d'eau utilisés pour l'adduction d'EDCH et les stations météorologiques.

Le découpage hydrographique retenu est celui des 1 140 sous-secteurs hydrographiques localisés sur l'Hexagone (découpage de 3<sup>e</sup> ordre) tels que définis dans la Base de données sur la cartographie thématique des agences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement (dernière version de BD Carthage disponible en date de 2017).

### 2.3.4 Données sur les réseaux d'eau destinée à la consommation humaine

Le Système d'information en santé-environnement sur les eaux d'alimentation (SISE-Eaux) permet d'identifier les caractéristiques des unités de distribution d'eau destinée à la consommation humaine (UDI) dans lesquelles la qualité de l'eau distribuée est supposée homogène, hors pollution accidentelle ou chronique. Cette base nationale est gérée par le ministère chargé de la santé et mise à jour en continu par les ARS. Les informations disponibles concernent les infrastructures des systèmes d'adduction en eau potable et les liens entre eux (CAP, stations de traitement, UDI, réservoirs), les traitements réalisés, les effectifs de populations desservies et les résultats du contrôle sanitaire de l'EDCH.

Selon les données disponibles en janvier 2023, 23 376 UDI étaient actives dans l'Hexagone et celles-ci étaient alimentées par 33 816 CAP. Pour 90,2 % de ces UDI (N=22 376), la géolocalisation d'au moins un CAP sur un des 1 140 sous-secteurs hydrogéologiques était possible dans le cadre de notre étude.

Concernant les 31 épidémies étudiées par Santé publique France, elles couvraient 80 UDI (de 1 à 12 UDI par épidémie, médiane de 2 UDI par épidémie). L'identification des CAP associés aux différentes UDI impliquées a été possible pour 30 des 31 épidémies (97 %), les données disponibles ne permettant pas d'obtenir ces informations pour 1 épidémie (Hermonville en 2021, épidémie possiblement associée à un dysfonctionnement au niveau de la station d'épuration). Au total, 133 CAP correspondant ont été identifiés et parmi eux, 131 ont pu être localisés au moyen d'un système d'information géographique sur un sous-secteur hydrologique.

Pour l'ensemble des 9 510 signaux issus du SI-EpiGEH et retenus pour nos analyses, 6 814 UDI différentes ont été répertoriées (de 1 à 15 UDI par signal, médiane de 1 UDI par signal). Au moins un CAP a pu être identifié pour 8 997 signaux (95 %) dont 2 262 impliquant des UDI de façon répétée.

## 2.4 Définition de la période supposée d'exposition

La période supposée d'exposition (PSE) est définie comme le délai entre le début de la survenue d'un événement pluvieux et l'observation des premiers cas impliqués dans une épidémie de GEA d'origine hydrique. Selon les informations recueillies lors des investigations des épidémies associées à un événement pluvieux, cette PSE était très hétérogène, pouvant aller de quelques jours à près d'un mois. Les principaux paramètres influençant ce délai sont le type d'événement pluvieux (intensité, durée), la nature de la ressource en eau (superficielle ou souterraine), les caractéristiques hydrogéologiques des sols (influençant le ruissellement et/ou la percolation, temps de migration de l'eau dans les bassins-versants), et la longueur des réseaux d'eau concernés.

## 2.5 Construction de l'indicateur pluviométrique et définition des alarmes pluviométriques

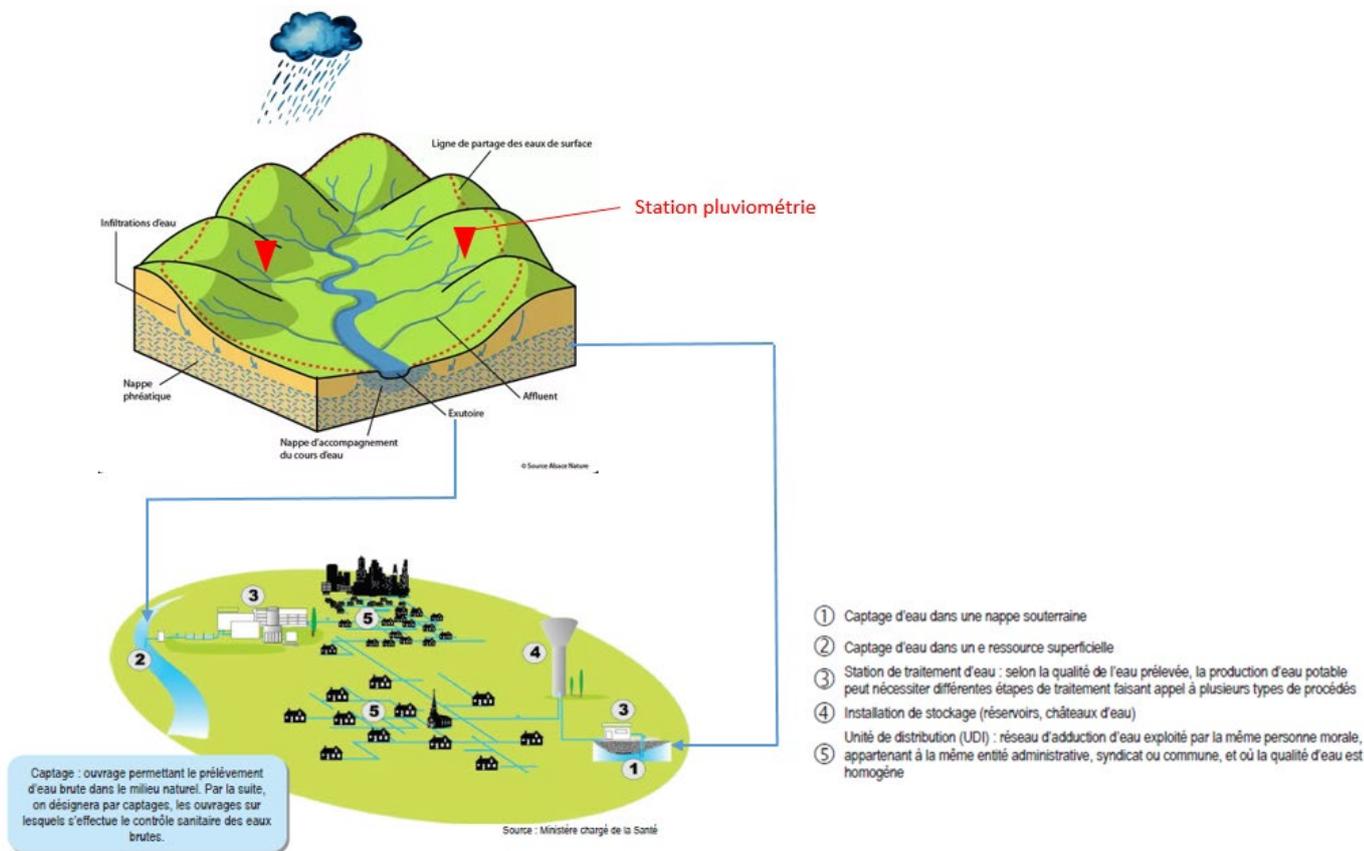
L'indicateur pluviométrique a été défini comme la somme des cumuls quotidiens de pluies durant une PSE, au niveau de la station météorologique traduisant au mieux l'influence de la pluie sur les captages d'eau d'une unité de distribution d'eau touchée. Pour chaque captage d'eau, la station météorologique retenue correspondait en priorité à la station la plus proche située sur le même sous-secteur hydrologique (bassin-versant) (Figure 3) ou, si aucune station ne se trouvait dans cette zone, la station géographiquement la plus proche (Figure 4).

Un indicateur pluviométrique a été estimé pour chaque CAP identifié. La comparaison de cet indicateur aux références pluviométriques sur le mois précédent et le mois en cours du signal a pu être réalisée pour chaque couple CAP-station météorologique, en utilisant des PSE allant de 15 à 31 jours ainsi que les 3 références pluviométriques identifiées précédemment (4<sup>e</sup> quintile, médiane, moyenne des normales mensuelles).

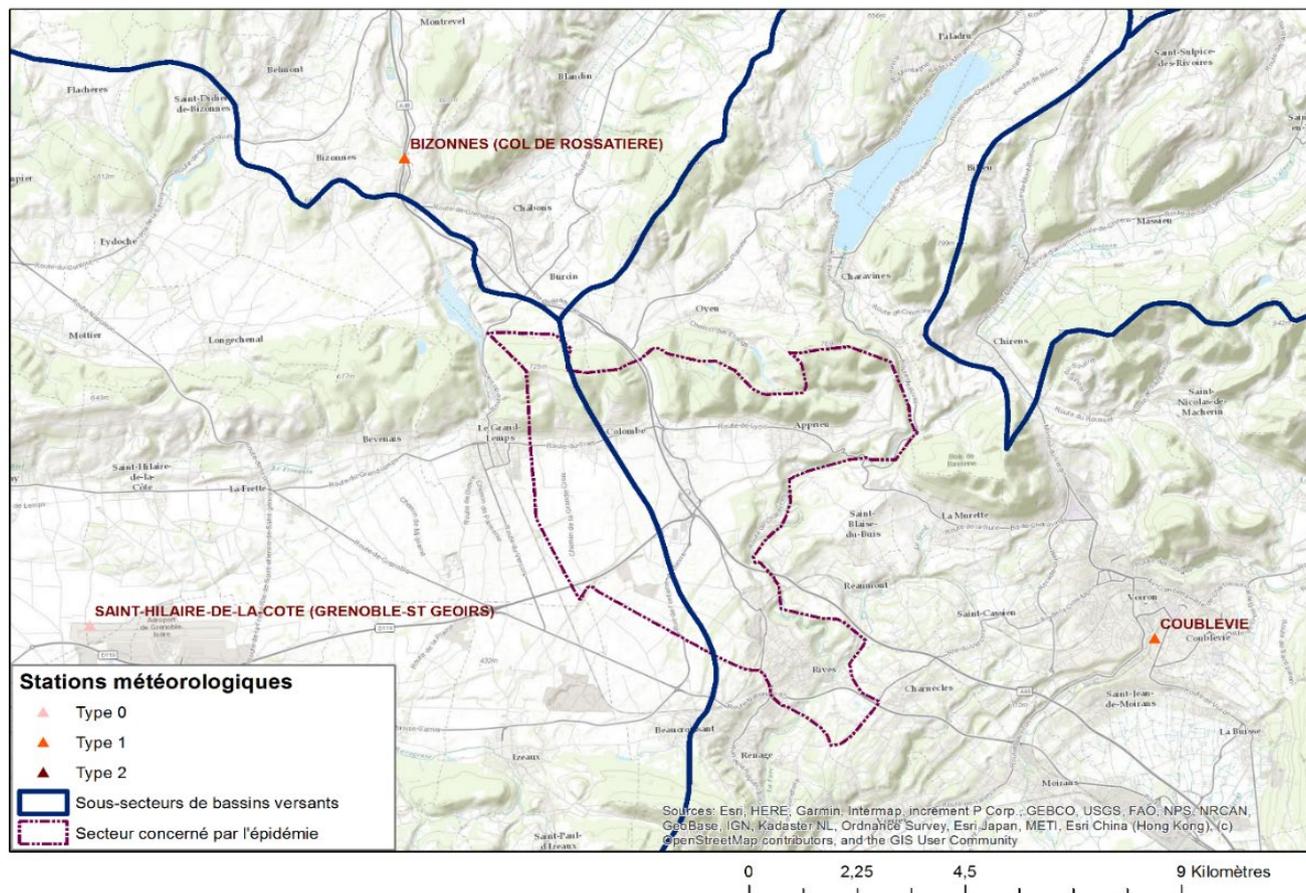
De 1 à 4 stations météorologiques ont été identifiées pour chaque épidémie investiguée.

**Une alarme pluviométrique positive était attribuée** à l'épidémie ou le signal EpiGEH lorsque l'indicateur pluviométrique était supérieur ou égal à une des valeurs de référence pluviométrique retenues (moyenne, médiane, 4<sup>e</sup> quintile) pour le mois précédent ou le mois en cours de début de l'événement sanitaire donné.

**Figure 3 : Schéma de principe du lien entre les stations de pluviométrie, les bassins-versants, les ressources en eau et le système de captage/production/distribution d'eau**



**Figure 4 : Exemple de situation géographique d'une commune touchée par une épidémie hydrique investiguée (délimitée par le trait pointillé violet) couplée aux bassins-versants (délimités par les traits bleus) et aux stations météorologiques (indiqués par des triangles)**  
**Exploitation : Santé publique France**



## 2.6 Sélection des paramètres de références pluviométriques

### 2.6.1 Évaluation de la performance des références pluviométriques

Les résultats de cette analyse ont été évalués en se basant sur 3 critères de performance :

- **La sensibilité** : rapport du nombre d'épidémies connues et investiguées avec alarme pluviométrique positive parmi les épidémies liées à un événement pluvieux ;
- **La spécificité** : rapport du nombre d'épidémies connues et investiguées sans alarme pluviométrique parmi les épidémies non liées à un événement pluvieux ;
- **La valeur prédictive positive** : rapport du nombre d'épidémies connues et investiguées liées à un événement pluvieux pour lesquelles on a une alarme positive parmi l'ensemble des épidémies pour lesquelles une alarme positive a été estimée.

### 2.6.2 Critères de choix des références pluviométriques

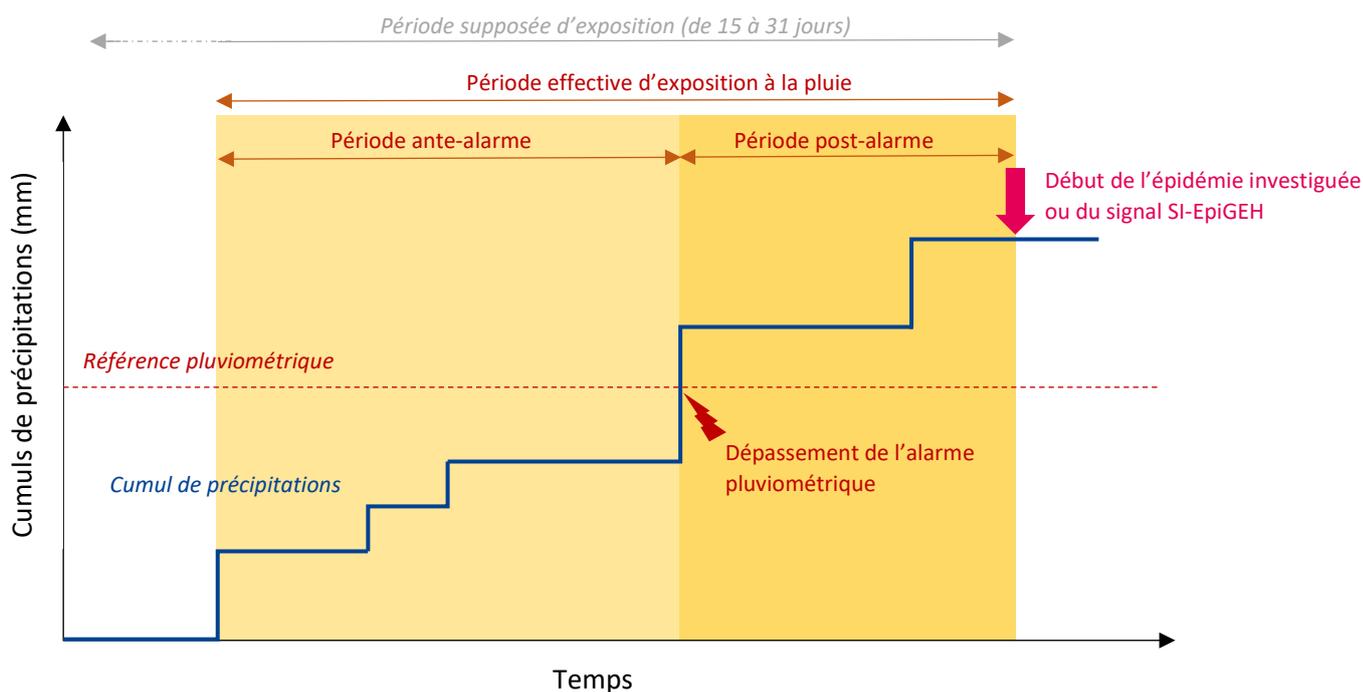
Les couples PSE/références pluviométriques maximisant la spécificité et la valeur prédictive positive ont été privilégiés. Ces deux paramètres ont été considérés comme prioritaires comparativement à la sensibilité afin de limiter en priorité les faux positifs.

Une valeur prédictive positive et une spécificité d'au moins 0,8 (80 %) ont été retenues de façon arbitraire comme seuils de détermination pour le choix des références pluviométriques.

## 2.7 Analyses du délai entre le début des pluies et la survenue des premiers cas

Pour l'ensemble des épidémies investiguées et des signaux du SI-EpiGEH concernés par des alarmes pluviométriques positives, deux types de délais ont été calculés : d'une part le nombre de jours consécutifs nécessaires au déclenchement de l'alarme pluviométrique (période ante-alarme) et d'autre part le délai entre le déclenchement de l'alarme pluviométrique et la survenue des premiers cas de GEA impliqués dans une épidémie (période post-alarme) (Figure 5). Le cumul de ces deux périodes représente la période d'exposition effective à la pluie.

**Figure 5 : Description des périodes ante et post alarme pluviométriques**  
(Source : Santé publique France)



# 3 RÉSULTATS

## 3.1 Construction de l'indicateur pluviométrique et choix des références pluviométriques à partir des épidémies de GEA documentées (Étape 1)

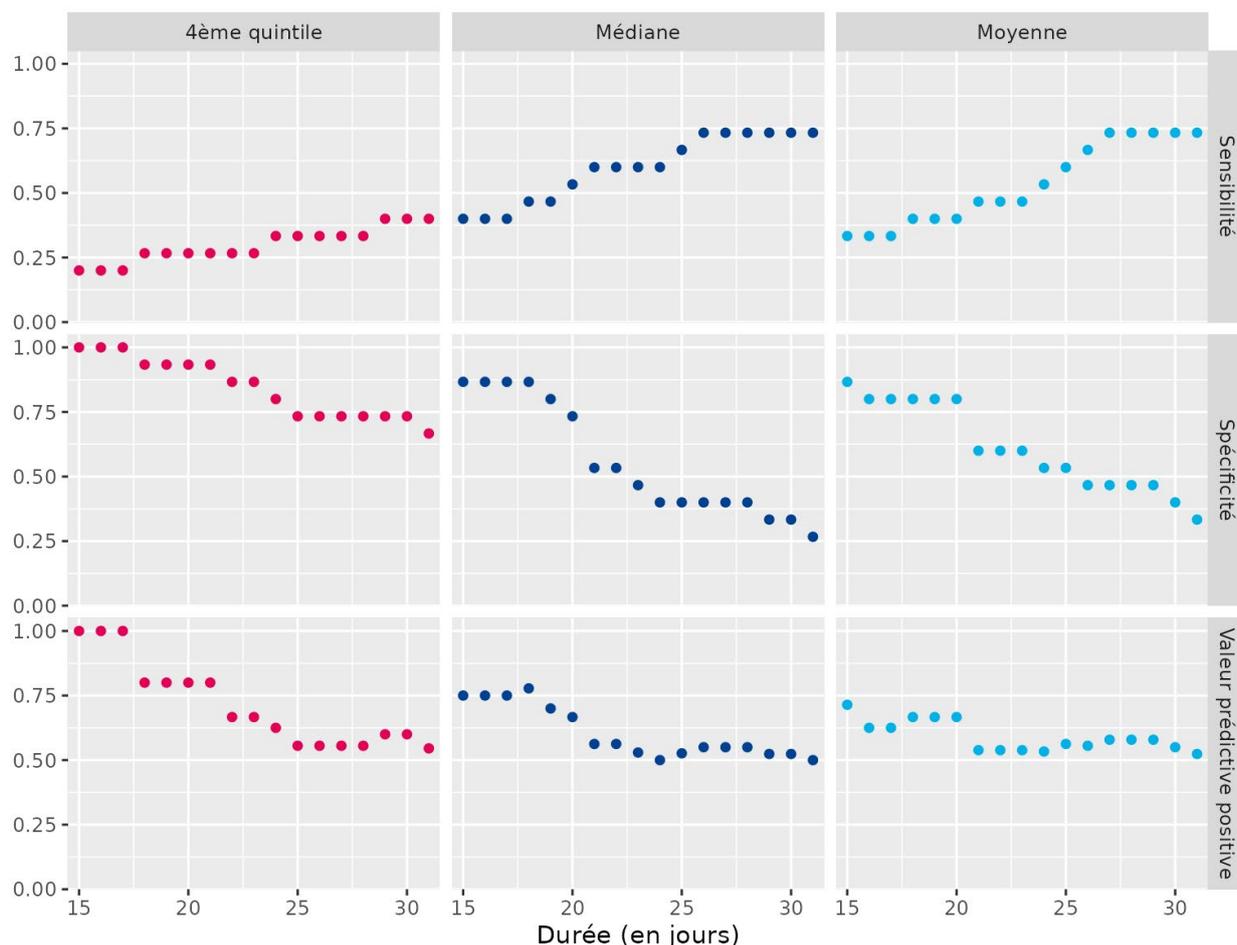
### 3.1.1 Description des alarmes pluviométriques en fonction des indicateurs

Sur l'ensemble des différents couples PSE/références pluviométriques retenus, les indicateurs estimés à partir des moyennes et médianes des normales mensuelles de précipitations étaient globalement associés à un nombre plus élevé de dépassements d'alarmes pluviométrique en matière de sensibilité que ceux utilisant la référence au 4<sup>e</sup> quintile (de 0,33 à 0,73 *versus* de 0,20 à 0,40) (Annexes 2 et 3). À l'inverse, les indicateurs de spécificité et de valeur prédictive positive étaient associés à un nombre plus élevé de dépassement d'alarmes en utilisant le 4<sup>e</sup> quintile comme référence pluviométrique (respectivement de 0,60 à 1,00 *versus* de 0,27 à 0,87 et de 0,50 à 1,00 *versus* 0,47 à 0,78).

Selon les couples PSE/références pluviométriques, des alarmes pluviométriques ont été détectées pour 3 à 22 épidémies/30 (Annexe 3, Tableau 5 en page 50 à Tableau 7 en page 52). Parmi elles, 3 à 11 des alarmes pluviométriques concernaient des épidémies pour lesquelles la pluviométrie était considérée comme un élément favorisant.

**Figure 6 : Répartition des indicateurs de sensibilité, spécificité et de valeur prédictive positive, selon les couples PSE/références pluviométriques**

Source : Santé publique France



### 3.1.2 Détermination des couples PSE/références pluviométriques

Selon les seuils de spécificité et de valeur prédictive positive choisis comme critères de décision, 7 couples PSE/références pluviométriques conduisaient à des alarmes pluviométriques positives permettant d'atteindre l'objectif d'une valeur supérieure ou égale à 0,8 pour ces deux indicateurs (Annexe 3) : du 4<sup>e</sup> quintile/15 jours au 4<sup>e</sup> quintile/21 jours.

Les couples 4<sup>e</sup> quintile/15 jours à 17 jours étaient associés aux valeurs maximales de spécificité et valeur prédictive positive (=1) mais avec une sensibilité de 20 % (alarme pour 3 épidémies sur 15 liées à de fortes pluies). Les couples 4<sup>e</sup> quintile/18 jours à 21 jours étaient associés à une valeur prédictive positive de 0,8 et d'une spécificité de 0,9.

## 3.2 Calcul de l'indicateur pluviométrique pour l'ensemble des signaux du dispositif de surveillance EpiGEH (Étape 2)

### 3.2.1 Calcul des indicateurs et des alarmes pluviométriques

Pour les 9 510 signaux de la période d'étude, et selon les résultats de la 1<sup>re</sup> étape de nos analyses, les alarmes pluviométriques retenues correspondaient aux couples 4<sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles/15 jours à 21 jours.

Le nombre de signaux avec une alarme pluviométrique positive variait, selon les PSE envisagées, de 312 à 837 (de 3,5 % à 9,3 % des signaux du dispositif EpiGEH retenus pour cette étude) (Tableau 1).

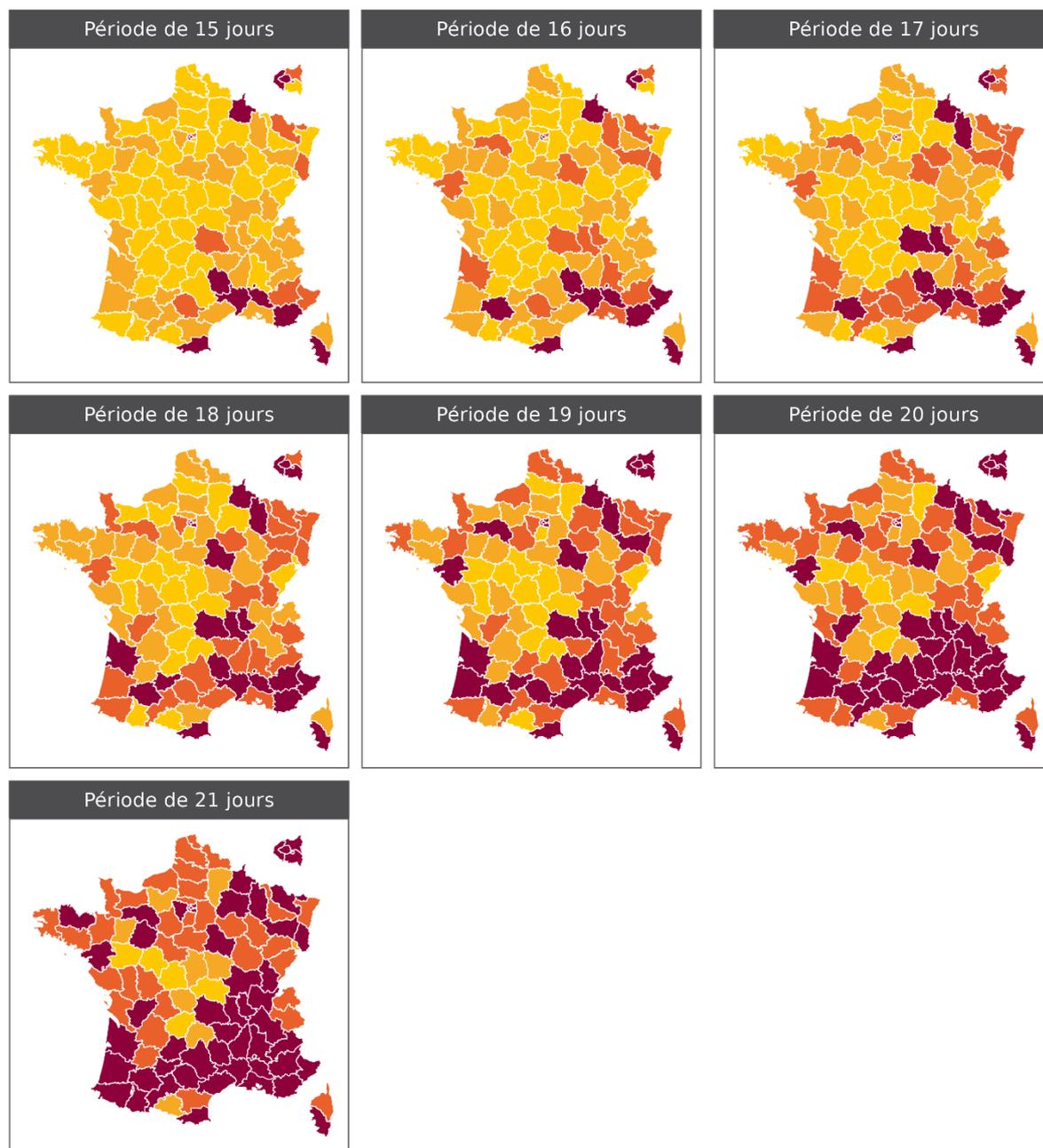
Sur le plan régional, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse, Occitanie et Auvergne-Rhône-Alpes étaient les régions pour lesquelles les parts d'alarmes pluviométriques positives parmi les signaux détectés étaient les plus élevées (respectivement, pour une PSE de 21 jours, 14,5 % de signaux, 13,0 %, 12,2 % et 11,0 %).

Au niveau départemental, et hors Paris, le Vaucluse était le département pour lequel la part de signaux avec une alarme pluviométrique était la plus élevée (de 20,0 % à 23,3 % pour une PSE de 19 à 21 jours, N=14 à 21 jours) (Figure 7). Suivent ensuite, les départements des Hautes-Alpes (jusqu'à 19,0 % de signaux avec une alarme pluviométrique selon la PSE), de la Lozère (19,0 %), des Alpes-Maritimes (17,5 %), de la Corse (17,0 %), de l'Yonne (17,0 %), des Landes (16,8 %), des Hauts-de-Seine (16,7 %), de la Loire (16,5 %), du Gers (16,0 %), de l'Orne et de la Seine-Saint-Denis (15,6 %).

**Tableau 1 : Nombres et parts régionaux de signaux avec alarme pluviométrique pour des périodes supposées d'exposition de 15 à 21 jours et le 4<sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles comme référence pluviométrique (source : Santé publique France)**

Régions	4 <sup>e</sup> quintile associé à une période supposée d'exposition (en jours)						
	15	16	17	18	19	20	21
Auvergne-Rhône-Alpes	39 (3,9 %)	48 (4,8 %)	57 (5,7 %)	67 (6,7 %)	79 (7,9 %)	93 (9,3 %)	110 (11,0 %)
Bourgogne-Franche-Comté	17 (2,8 %)	18 (3,0 %)	23 (3,8 %)	30 (5,0 %)	36 (6,0 %)	40 (6,7 %)	51 (8,5 %)
Bretagne	10 (1,6 %)	17 (2,8 %)	24 (3,9 %)	29 (4,7 %)	35 (5,7 %)	42 (6,8 %)	48 (7,8 %)
Centre-Val de Loire	7 (1,2 %)	9 (1,5 %)	13 (2,2 %)	15 (2,5 %)	19 (3,2 %)	25 (4,2 %)	30 (5,0 %)
Corse	6 (7,8 %)	8 (10,4 %)	8 (10,4 %)	9 (11,7 %)	10 (13,0 %)	10 (13,0 %)	10 (13,0 %)
Grand Est	46 (4,5 %)	56 (5,4 %)	69 (6,7 %)	74 (7,2 %)	82 (8,0 %)	88 (8,5 %)	101 (9,8 %)
Hauts-de-France	21 (2,4 %)	23 (2,6 %)	31 (3,5 %)	37 (4,2 %)	45 (5,1 %)	52 (5,9 %)	61 (6,9 %)
Île-de-France	14 (2,7 %)	15 (2,9 %)	21 (4,0 %)	29 (5,5 %)	33 (6,3 %)	40 (7,6 %)	48 (9,2 %)
Normandie	17 (3,0 %)	20 (3,5 %)	23 (4,0 %)	27 (4,7 %)	33 (5,8 %)	42 (7,3 %)	49 (8,6 %)
Nouvelle-Aquitaine	28 (2,6 %)	34 (3,1 %)	47 (4,3 %)	64 (5,9 %)	73 (6,7 %)	83 (7,6 %)	95 (8,7 %)
Occitanie	55 (5,5 %)	66 (6,7 %)	74 (7,5 %)	82 (8,3 %)	96 (9,7 %)	110 (11,1 %)	121 (12,2 %)
Pays de la Loire	14 (2,9 %)	20 (4,1 %)	22 (4,5 %)	25 (5,1 %)	30 (6,1 %)	33 (6,7 %)	37 (7,6 %)
Provence-Alpes-Côte d'Azur	38 (7,3 %)	43 (8,2 %)	46 (8,8 %)	51 (9,8 %)	60 (11,5 %)	66 (12,6 %)	76 (14,5 %)
<b>Total</b>	<b>312</b> <b>(3,5 %)</b>	<b>377</b> <b>(4,2 %)</b>	<b>458</b> <b>(5,1 %)</b>	<b>539</b> <b>(6,0 %)</b>	<b>631</b> <b>(7,0 %)</b>	<b>724</b> <b>(8,0 %)</b>	<b>837</b> <b>(9,3 %)</b>

**Figure 7 : Parts départementales de signaux avec une alarme pluviométrique pour des PSE de 15 à 21 jours et le 4<sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles comme référence pluviométrique (source : Santé publique France)**



Part départementale des signaux avec un dépassement du 4<sup>e</sup>me quintile des cumuls mensuels de pluies (en %, période 2010-2021)

[0%-3%[	[3%-6%[	[6%-9%[	[9%-40%]
---------	---------	---------	----------

### 3.2.2 Caractéristiques des événements pluvieux conduisant à des alarmes

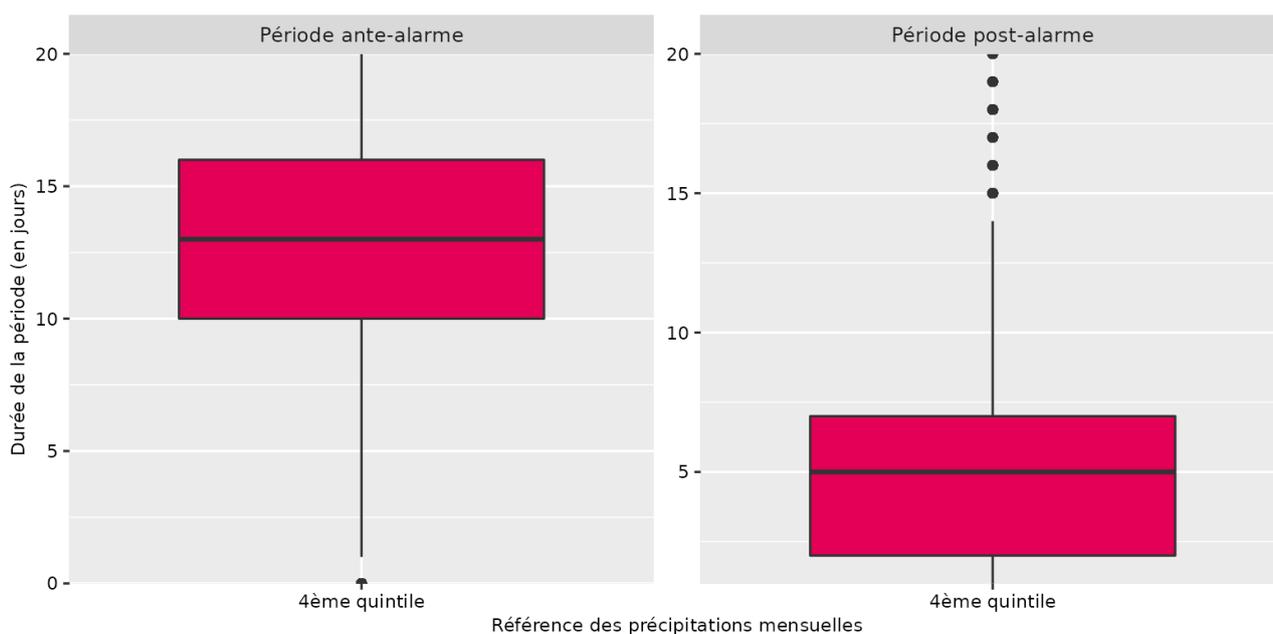
Les caractéristiques des événements pluvieux ont été estimées à partir des signaux pour lesquels une alarme pluviométrique positive avait été détectée jusqu'à une PSE de 21 jours (N=837).

Sous ces hypothèses, la période ante-alarme (nombre de jours entre les premières pluies et l'atteinte du seuil de référence choisi) était en moyenne de 12,5 jours (IC<sub>95 %</sub>=[12,4 ; 12,6], médiane de 13 jours et percentile 75 de 16 jours) et la période post-alarme (nombre de jours entre le dépassement du seuil de référence pluviométrique et l'apparition des premiers cas) de 5,4 jours (IC<sub>95 %</sub>=[5,3 ; 5,5], médiane de 5 jours et percentile 75 de 7 jours) (Figure 8). Considérant spécifiquement les signaux

relatifs à des épidémies investiguées, en moyenne, la période ante-alarme était de 17,3 jours [16,5 ; 18,1] (médiane de 17 jours) et la période post-alarme de 8,7 jours [8,1 ; 9,3] (médiane de 6 jours).

Ces résultats étaient toutefois hétérogènes suivant les signaux considérés. Cette variabilité peut être en partie expliquée par la diversité des phénomènes pluvieux (en termes de durée et d'intensité), par la nature des ressources envisagées et par les caractéristiques hydrogéologiques des sols exposés, autant de paramètres non pris en compte dans cette étude exploratoire.

**Figure 8 : Distribution de la durée des périodes ante- et post-alarme pour des périodes supposées d'exposition de 15 à 21 jours et avec comme référence pluviométrique le 4<sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles (source : Santé publique France)**



## 4 DISCUSSION

### 4.1 Principaux résultats

Cette étude exploratoire qui visait à évaluer la possibilité de construire un indicateur pluviométrique prédictif d'un risque de survenue d'épidémies de GEA d'origine hydrique s'est appuyée sur des données d'épidémies hydriques pour lesquelles les investigations réalisées au moment de leur survenue ont permis de documenter l'influence d'événements pluvieux et des données issues du SI-EpiGEH. Les analyses réalisées ont permis de proposer le calcul d'un indicateur de pluviométrie basé sur les données d'observation des stations météorologiques situées dans la mesure du possible dans le même bassin hydrographique que les captages d'eau utilisées pour desservir de l'eau potable dans les unités de distribution d'eau concernées par une épidémie de GEA d'origine hydrique supposée ou avérée. Cet indicateur correspond au cumul des précipitations quotidiennes sur une durée allant de 15 à 21 jours avant le début du signal sanitaire. Les analyses réalisées à partir des caractéristiques des épidémies étudiées ont ensuite montré que le dépassement par cet indicateur du 4<sup>e</sup> quintile des normales mensuelles de précipitations était associé (eu égard aux épidémies hydriques identifiées comme ayant été influencées par la pluie) à une spécificité et une valeur prédictive positive (VPP) de plus de 80 %.

On note que la sélection du 4<sup>e</sup> quintile des normales mensuelles comme référence pour définir une alarme pluviométrique était cohérente avec les données de la littérature. En effet, des augmentations significatives de la charge microbiologique des eaux distribuées et des cas de GEA alimentés par ces eaux ont déjà été identifiées à la suite d'événements pluvieux pour lesquels les précipitations cumulées sur sept jours dépassaient une valeur haute de la distribution des précipitations comme le 90<sup>e</sup> percentile des cumuls hebdomadaires par exemple (2,3).

Par ailleurs, le bilan sur l'ensemble des signaux du SI-EpiGEH détectés entre 2010 et 2021 a mis en évidence qu'entre 4 % (cumul de pluie de 15 jours) et 10 % des signaux (cumul de 21 jours) étaient précédés d'une alarme pluviométrique comme définie précédemment, laissant suggérer une influence de la pluie sur la survenue de cas de maladies liées à la consommation d'eau du robinet. Certaines régions et certains départements ont une proportion de signaux associés à la pluie plus importante que d'autres.

Enfin, un autre résultat important mis en évidence dans cette étude est le délai de 5,4 jours à 8,7 jours (estimations sur les épidémies hydriques investiguées versus sur l'ensemble des signaux SI-EpiGEH) entre l'atteinte de la référence pluviométrique retenue (4<sup>e</sup> quintile de la normale mensuelle des pluies) et la survenue des premiers cas de GEA « impliquées » et « non-impliquées » dans une épidémie. Sur ce point, la différence de 3 jours entre les estimations faites à partir des épidémies étudiées et les signaux du SI-EpiGEH peut s'expliquer d'une part par le délai entre l'apparition des symptômes (date de début des signes utilisée pour dater les premiers cas dans les épidémies investiguées) et la consultation d'un médecin généraliste (date prise en compte pour la survenue des cas dans SI-EpiGEH), d'autre part par le fait que la date de début des signaux dans SI-EpiGEH est estimée sur un critère statistique (moment à partir duquel le nombre de cas est significativement plus élevé que l'attendu) qui peut entraîner un délai par rapport au démarrage réel de l'épidémie en ne prenant pas en compte les premiers cas.

## 4.2 Limites de nos analyses

### 4.2.1 Données des épidémies connues et investiguées

La première partie de nos analyses concernait les épidémies investiguées. L'objectif principal était d'utiliser ces données comme « gold-standard » pour déterminer les paramètres optimaux (PSE et référence pluviométrique) maximisant la valeur prédictive positive et la spécificité des alarmes pluviométriques.

Pour cela, le lien entre la survenue d'une épidémie et l'observation d'un contexte pluviométrique favorisant a été systématiquement recherché dans les éléments d'investigations disponibles auprès des cellules régionales de Santé publique France concernées. Pour 15 des 30 épidémies retenues, ce type de contexte avait été identifié et à l'inverse, aucun événement pluviométrique particulier n'avait été mis en évidence pour les 16 autres. Pour ces dernières, l'hypothèse a donc été faite que la pluviométrie n'était pas un facteur favorisant.

Toutefois, pour des épidémies dans le cadre desquelles les investigations n'ont pu mettre en évidence de circonstance précise et pour lesquelles des alarmes pluviométriques positives ont été détectées (Laruns en 2014 ou Capbreton en 2016, voir Annexes du Tableau 3 en page 31 au Tableau 7 en page 52), la question de l'influence possible de la pluie sur la dégradation de la qualité de l'eau desservie peut se poser. En effet, il est tout à fait possible que ce contexte pluviométrique, en particulier lorsqu'il est à distance de plusieurs jours de la survenue des premiers cas, n'ait pas été évalué au moment des investigations. Cette incertitude sur des erreurs de classement des épidémies selon l'influence possible de la pluie peut avoir une influence sur les indicateurs de l'analyse de sensibilité et donc sur le choix des paramètres optimaux pour le calcul des indicateurs pluviométrique.

Sur ces aspects, nos travaux soulignent l'importance, dans le cadre de l'investigation d'épidémies de GEA d'origine hydrique, de l'identification des événements pluvieux antérieurs à la survenue des premiers cas (y compris jusqu'à un mois avant), ces événements pouvant, notamment selon le contexte hydrogéologique et les vulnérabilités des CAP, avoir joué un rôle dans la contamination de l'eau distribuée.

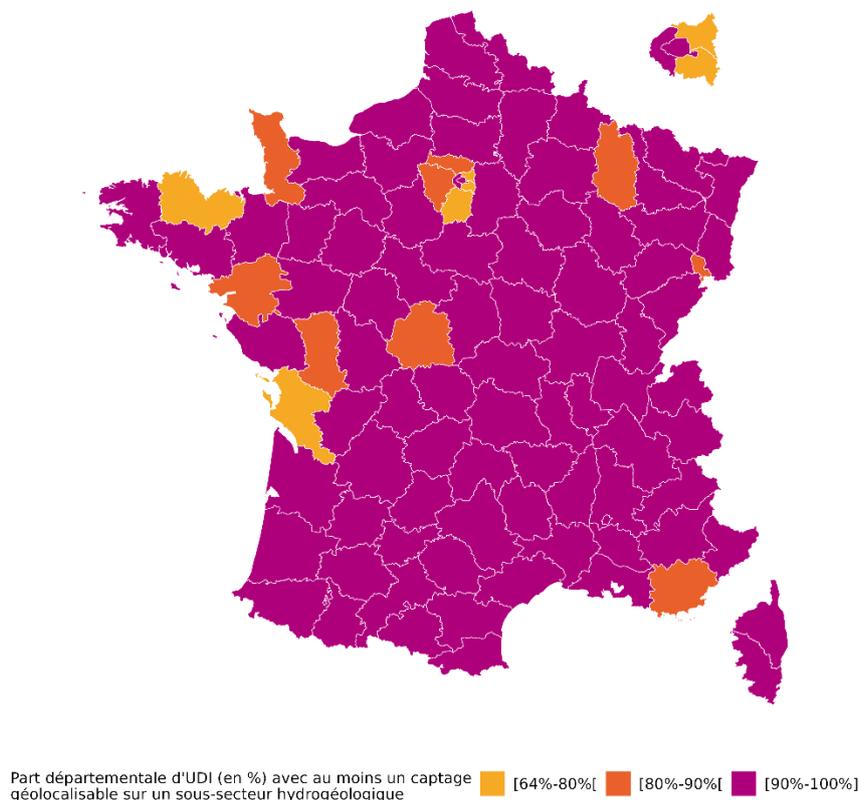
### 4.2.2 Paramètres d'estimation des indicateurs et alarmes pluviométriques

#### 4.2.2.1 Géolocalisation des captages

Pour chaque signal identifié sur la zone d'étude, l'indicateur pluviométrique prenait en compte les différents CAP identifiés dans SISE-Eaux auxquels il était possible d'attribuer un sous-secteur hydrogéologique. Cette mise en concordance a été réalisée en utilisant un système d'information géographique qui combinait d'une part une couche de données géographiques comprenant l'ensemble des contours des zones hydrogéologiques (BD Carthage) et d'autre part une couche de données attributaires contenant l'ensemble des coordonnées géographiques des CAP (SISE-Eaux).

Cette démarche n'a toutefois pas été possible, selon les informations disponibles au moment de nos analyses, pour 5 % des signaux. On notera également que parmi les captages d'eau répertoriés, les informations géographiques disponibles permettaient de localiser 97 % d'entre eux (N=12 502) sur un sous-secteur hydrologique (informations de localisation erronées pour les 3 % restants). En définitive, ce recoupement a été possible pour 90,2 % des unités de distribution d'eau, mais on observait une forte disparité départementale de cet indicateur : de 64 % à 98 % (médiane de 96,2 %, 5 départements en dessous de 80 %, 14 départements en dessous de 90 %) (Figure 9).

**Figure 9 : Répartition de la part départementale de captages d'eau utilisables pour le calcul des indicateurs pluviométriques (source : Santé publique France)**



Finalement, cette limite peut être considérée comme un biais dans l'identification des stations météorologiques d'intérêt et son influence sur nos résultats varie selon le territoire envisagé.

#### 4.2.2.2 Identification des stations météorologiques d'intérêt

De manière globale, il est également important de préciser que la sélection de stations ne se situant pas sur le sous-secteur hydrogéographique des CAP identifiés constitue un biais dans la précision de l'indicateur pluviométrique – car les volumes de pluie considérés sont moins représentatifs que ceux ayant réellement touché les CAP – mais aussi dans le choix des références pluviométriques. Ce biais est variable d'un signal à un autre, les stations retenues pouvant se situer jusqu'à plusieurs kilomètres des points de captage d'eau.

#### 4.2.2.3 Prise en compte de la dimension temporelle

La notion temporelle rentrait en ligne de compte à deux niveaux dans nos analyses, d'une part pour le calcul de l'indicateur et d'autre part pour le choix des références pluviométriques.

Tout d'abord, la PSE correspondait à la durée sur laquelle le cumul des pluies quotidiennes était calculé pour estimer l'indicateur pluviométrique. Plus ce laps de temps est important, plus la sensibilité de l'indicateur augmente et ce, au détriment de la spécificité et de la valeur prédictive positive. Toutefois, comme cela a déjà été observé dans l'historique des épidémies investiguées, la prise en compte de PSE longues (jusqu'à un mois) peut se justifier selon le contexte local, notamment dans des situations de pluies modérées mais durables ou lorsque l'environnement hydrogéologique est associé à des temps de migration longs. La forte variabilité de ce paramètre souligne tout l'intérêt d'avoir réalisé une analyse de sensibilité pour notre étude.

Concernant le choix des références pluviométriques, pour chaque CAP identifié, nous avons utilisé les valeurs de normales mensuelles du mois précédent et du mois en cours du signal. Ce choix a

été discuté et validé avec les experts météorologues de Météo-France. Une autre option, consistant à calculer, pour chaque station retenue et pour chaque PSE considérée, une valeur de référence à partir de la distribution des données historiques n'a toutefois pas été jugée pertinente à ce stade compte tenu de l'existence de références pluviométriques directement disponibles.

Par ailleurs, la comparaison de nos indicateurs à des références mensuelles – notamment lorsqu'ils étaient calculés sur les périodes de 15 à moins de 28 jours – peut être discutée. Ce choix présente toutefois l'intérêt de maximiser la valeur prédictive positive des alarmes associées à des événements pluvieux considérés comme intenses, par exemple de type orageux, avec des chutes d'eau importantes sur des laps de temps relativement courts (de quelques heures à quelques jours).

### 4.2.3 Autres paramètres non pris en compte

L'influence de la pluie sur la qualité de l'eau des ressources utilisées pour la potabilisation peut dépendre de plusieurs paramètres : pluviométriques (intensité de la pluie et durée des événements pluvieux), hydrogéologiques (type de ressource, type de sols, topographie des bassins-versants, temps de séjour hydraulique dans le bassin-versant), microbiologiques (existence de sources de pollutions dans le bassin-versant) et opérationnels (actions de protection des captages). Dans cette étude exploratoire, les indicateurs utilisés ont été calculés à partir des seules données de pluviométrie en première approche. L'influence des autres paramètres tel que le type de sols pourrait moduler la relation entre la pluviométrie et la survenue d'épidémies de GEA d'origine hydrique. Des analyses complémentaires, en prenant notamment en compte l'hydrogéologie des sols, seraient nécessaires pour affiner l'étude de la relation entre la pluviométrie et le risque d'épidémies hydriques. Néanmoins, les premiers résultats obtenus dans cette étude peuvent d'ores et déjà être pris en compte dans le dispositif EpiGEH pour documenter de façon standardisée l'information sur les événements pluvieux survenus en amont des signaux détectés dans le SI-EpiGEH.

## 4.3 Plus-values des analyses et perspectives

Les analyses que nous avons réalisées présentent plusieurs intérêts dans le cadre du dispositif EpiGEH. En effet, le calcul des alarmes pluviométriques permet d'identifier parmi les signaux détectés ceux dont les UDI sont potentiellement concernées par une vulnérabilité aux précipitations. Ces signaux (et UDI associées) sont donc considérés comme prioritaires pour la réalisation des enquêtes environnementales. Cette étude apporte donc un critère supplémentaire, basé sur les données pluviométriques pour prioriser les UDI à risque, en complément des critères épidémiologiques déjà appliqués.

De plus, la méthode proposée est entièrement reproductible et automatisable, moyennant l'utilisation pour chaque période d'étude considérée : des signaux détectés (SI-EpiGEH, Santé publique France), des données des réseaux d'eau (SISE-Eaux, Direction générale de la santé) et des données pluviométriques (Météo-France) adéquates. À ce titre, la faisabilité d'une automatisation de ces analyses dans le cadre du dispositif EpiGEH sera étudiée dans les prochains mois par Santé publique France en concertation avec Météo-France.

Concernant la gestion et de sécurisation des réseaux d'EDCH, deux indicateurs d'intérêt ont également été proposés dans le cadre de nos analyses : les délais ante et post-alarme. Dans le cadre d'un dispositif d'alerte construit autour de la prévision et de la surveillance des observations de précipitations, le suivi de ces deux indicateurs permettrait d'adapter les moyens de traitement de l'eau distribuée et/ou d'adapter les modes de consommation des populations desservies. Bien que pertinent d'un point de vue de la santé publique, la construction d'un tel dispositif repose toutefois sur la capacité des différents acteurs impliqués à développer des outils de surveillance et à fournir des réponses adaptées. Cette perspective sera également étudiée dans les prochains mois.

## 5 CONCLUSION

Nos analyses avaient pour objectif principal de tester le calcul d'alarmes pluviométriques dans le cadre du dispositif EpiGEH. Cet objectif se traduit en pratique par l'identification de cas groupés de GEA dont l'origine peut être la consommation d'une eau du robinet desservie par des réseaux potentiellement vulnérables aux précipitations ou pour lesquels les conditions pluviométriques observées ne leur permettaient pas de traiter convenablement l'eau distribuée.

La méthode a été calibrée dans un premier temps en utilisant les données de 30 épidémies investiguées sur la période 2010-2021 et appliquée ensuite à l'ensemble des signaux de la base de données SI-EpiGEH détectés sur la même période. Suivant ces paramètres, de 3,5 % à 9,3 % des signaux détectés sur les 12 premières années du dispositif seraient potentiellement liés à un événement pluvieux. Les réseaux d'eau concernés peuvent être considérés comme prioritaires pour la réalisation d'investigations complémentaires par les ARS et, lorsque nécessaire, faire l'objet d'un renforcement des mesures de sécurisation des ressources et des installations de production-distribution vis-à-vis du risque pluviométrique.

Les analyses réalisées sont reproductibles et pourraient être automatisées dans le cadre du dispositif EpiGEH, sous réserve de disponibilité des données nécessaires auprès des partenaires de Santé publique France. La faisabilité d'analyses périodiques dans cet objectif sera étudiée en 2024.

En termes de gestion et d'anticipation du risque de survenue d'épidémies de GEA d'origine hydrique, nos analyses ont permis la définition de deux indicateurs d'intérêt que sont les délais ante et post-alarmes pluviométriques. L'utilisation de ces deux indicateurs nous paraît pertinente dans le cadre d'un dispositif d'alerte construit autour de la surveillance des précipitations. La finalité de ce dispositif serait, *a minima* sur les réseaux d'eau réputés vulnérables et lorsque les conditions pluviométriques sont défavorables, de renforcer les mesures d'information et de sécurisation afin de préserver la santé des consommateurs d'eau du robinet.

## 6 RÉFÉRENCES

1. Pouey J, Galey C, Chesneau J, Jones G, Franques N, Beaudeau P, *et al.* Implementation of a national waterborne disease outbreak surveillance system: overview and preliminary results, France, 2010 to 2019. *Euro Surveill.* 2021;26(34).
2. Curriero FC, Patz JA, Rose JB, Lele S. The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. *Am J Public Health.* 2001;91(8):1194-9.
3. Canada S. La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement - chapitre 7 - Qualité, quantité et sécurité de l'eau. Ottawa2022. p. 529-607.
4. Chhetri BK, Takaro TK, Balshaw R, Otterstatter M, Mak S, Lem M, *et al.* Associations between extreme precipitation and acute gastro-intestinal illness due to cryptosporidiosis and giardiasis in an urban Canadian drinking water system (1997-2009). *J Water Health.* 2017;15(6):898-907.
5. Daures M, Bellali H, Bidet G, Mouly D. Rapport d'investigation d'une épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique... Pérignat-lès-Sarliève, Puy-de-Dôme. Juin-Juillet 2010. Saint-Maurice; 2011.
6. Mouly D, Vaissière E, Vincent N, Giron S. Rapport d'investigation. Épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique... Pleaux, Cantal, avril 2012. 2013.
7. Vaissiere E, Vincent N, Avy S. Epidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique à Saint-Julien-Chapteuil, Haute-Loire. 2014.
8. Fisher A, Castor C, Bonilla P, Noussitou M, Rolland P. Waterborne acute gastroenteritis outbreak in Laruns village, Pyrénées-Atlantiques, France - Mars 2014. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2014.
9. Hallet E, Charron M, Castor C, Rolland P. Épidémie de gastro entérites d'origine hydrique sur la commune de Capbreton, Landes. 2016.
10. Yvon JM, Vincent N, Bourrin S. Investigation of an outbreak of acute gastroenteritis of waterborne origin at Vif-Le Gua, Isère, March 2016. Saint-Maurice: Sante publique France; 2019.
11. Durand C, Pouey J. Toxi-infection alimentaire collective d'origine hydrique Tuchan (11). Mai 2016. 2016.
12. Pontiers V., France CrH-d-FdSp. Investigation d'une épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique à Breuil-le-Sec (Oise) d'avril à juin 2019 : résultats de l'enquête épidémiologique. Saint-Maurice: Santé publique France; 2021 Mai 2021.

## 7 ANNEXES

### Annexe 1 : Liste des épidémies de GEA d'origine hydrique identifiées par Santé publique France sur la période 2010-2021

Tableau 2 : Identification des épidémies de GEA d'origine hydrique investiguées et répertoriées par Santé publique France (source : Santé publique France, janvier 2023)

Index	Région, département	Épidémies d'origine hydrique investiguées (ville et année)	Date de début de l'épidémie*	Agents identifiés**	Circonstances/ Dys fonctionnements	Nombre de cas observés	Excès de cas***	Rapport de risque****	Durée (jours)	N° de référence du signal (SI-EpiGEH)
1.	Auvergne-Rhône-Alpes, Isère (38)	Apprieu, Colombe, Rives (2010)	06/04/2010	<i>Norovirus et rotavirus</i>	<b>Précipitations</b> , contamination microbienne de la ressource connue comme vulnérable, défaillance du traitement de chloration	160	145	10,3	12	20100406_000038000285
2.	Auvergne-Rhône-Alpes, Puy-de-Dôme (63)	Pérignat-Lès-Sarlièves (2010)	21/06/2010	<i>Campylobacter</i>	<b>Précipitations</b> , défaillance du traitement de chloration	31	27	7,0	5	20100621_000126005962
3.	Nouvelle-Aquitaine (33)	Saint-Julien-de-Beychevelle (2010)	07/07/2010	<i>Giardia duodenalis, Adenovirus, Cryptosporidium hominis, Escherichia coli, Staphylococcus aureus</i>	Retour d'eaux usées d'une station d'épuration (interconnexion réseau d'eau potable/réseau d'eaux usées non réglementaire au niveau de la STEU)	28	20	3,7	22	20100707_000033001472
4.	Auvergne-Rhône-Alpes, Isère (38)	Saint-Alban-du-Rhône (2010)	28/07/2010	<i>Norovirus et Aichi virus</i>	Anomalie dans le fonctionnement de la STEU : eaux de process issues du traitement des boues et réutilisées pour des rinçages internes introduites dans le réseau d'eau potable (erreur humaine et clapet anti-retour défectueux).	39	37	19,2	7	20100728_000038001925
5.	Grand Est, Meuse (55)	Lachalade (2011)	24-27/06/2011	Non disponible	<b>Précipitations</b> , défaillance du traitement de chloration	ND	ND	ND	ND	ND
6.	Auvergne-Rhône-Alpes, Cantal (15)	Pleaux (2012)	27/03/2012	<i>Norovirus</i>	<b>Fortes précipitations et orages</b> , défaillance des procédés de traitement	40	23	2,3	25	20120327_000045006797
7.	Auvergne-Rhône-Alpes, Ardèche (07)	Bourg-Saint-Andéol (2012)	24/05/2012	<i>Campylobacter, adenovirus et rotavirus</i>	Travaux sur le réseau quelques jours avant le signal (ayant entraîné la distribution d'une eau de couleur marron). Réseau avec possiblement un réservoir en pompage/refoulement, ou retour d'eau de puits privés reliés illicitement au réseau d'eau potable. <b>Approvisionnement du réseau à partir de deux sources, dont l'une est sensible aux fortes pluies</b>	129	70	2,2	22	20120524_000007001469

Index	Région, département	Épidémies d'origine hydrique investiguées (ville et année)	Date de début de l'épidémie*	Agents identifiés**	Circonstances / Dys fonctionnements	Nombre de cas observés	Excès de cas***	Rapport de risque ****	Durée (jours)	N° de référence du signal (SI-EpiGEH)
8.	Auvergne-Rhône-Alpes, Haute-Savoie (74)	Taninges (2013)	07/01/2013	<i>Adenovirus</i> et <i>rotavirus</i>	Introduction d'eaux usées par débordement et rupture de canalisation dans le CAP	38	28	3,7	6	20130107_000814029322
9.	Auvergne-Rhône-Alpes, Haute-Loire (43)	Saint-Julien Chapeuil (2014)	02/07/2014 (1 <sup>er</sup> cas certain)	Aucun identifié (résultats négatifs)	<b>Fortes précipitations et orages</b> , pas de désinfection	ND	ND	ND	ND	ND
10.	Nouvelle-Aquitaine, Pyrénées-Atlantiques (64)	Laruns (2014)	11/02/2014	<i>Norovirus</i> , <i>adenovirus</i> , <i>rotavirus</i> <i>sapovirus</i> et <i>Aichi virus</i>	Retour d'eaux usées d'une station d'épuration suspecté	17	13	4,8	4	20140211_000768011133
11.	Occitanie, Pyrénées-Orientales (66)	Prades (2014)	18/12/2014	<i>Norovirus</i>	<b>Fortes précipitations, orages et inondations</b>	55	46	5,8	4	20141218_000066000747, 20141218_000066000443
12.	Auvergne-Rhône-Alpes, Cantal (15)	Pierrefort (2015)	17/09/2015	Aucun identifié (résultats négatifs)	<b>Fortes précipitations, orages</b> et défaillance des procédés de traitement par UV	8	7	14,0	3	20150917_000045008068
13.	Auvergne-Rhône-Alpes, Haute-Loire (43)	Bellevue la Montagne, Ceaux, Monlet (2017)	17/09/2015	Aucun identifié (mais virus suspectés)	<b>Fortes précipitations, orages</b>	14	12	5,99	9	20150917_000043000964
14.	Provence-Alpes-Côte d'Azur, Hautes-Alpes (05)	St-Firmin-en-Valgaudemar (2015)	24/10/2015	<i>Norovirus</i>	Contamination du réseau par les eaux usées	12	9	4,3	18	20151024_000025008442
15.	Nouvelle-Aquitaine, Landes (40)	Capbreton (2016)	11/02/2016	<i>Enterovirus</i> et <i>Campylobacter</i>	Retour d'eaux usées d'une station d'épuration suspecté	128	102	5,0	8	20160211_000040000416
16.	Auvergne-Rhône-Alpes, Isère (38)	Vif, Le Gua (2016)	14/03/2016	<i>Rotavirus</i> et <i>norovirus</i>	Eau contaminée par des excréments humains	358	308	7,1	10	20160314_000152014430, 20160314_000038007554
17.	Occitanie, Aude (11)	Tuchan (2016)	24/05/2016	<i>Norovirus</i>	Travaux sur le réseau d'eau	14	11	5,4	7	20160524_000022002679
18.	Corse, Corse-du-Sud (2A)	Bonifacio (2017)	18/04/2017	Non disponible	Retour d'eaux usées d'une station d'épuration	ND	ND	ND	ND	ND
19.	Auvergne-Rhône-Alpes, Ain (01)	Aranc, Evosges, Nivollet-Montgriffon (2017)	29/04/2017	<i>Rotavirus</i>	<b>Fortes précipitations</b> , réseau connu comme étant « sensible », contamination microbienne de la ressource	15	12	5,5	20	20170429_000001000411
20.	Occitanie, Tarn-et-Garonne (82)	Caylus (2017)	10/06/2017	<i>Cryptosporidium</i>	Source d'eau contaminée par des déjections animales	ND	ND	ND	ND	ND

Index	Région, département	Épidémies d'origine hydrique investiguées (ville et année)	Date de début de l'épidémie*	Agents identifiés**	Circonstances / Dysfonctionnements	Nombre de cas observés	Excès de cas***	Rapport de risque****	Durée (jours)	N° de référence du signal (SI-EpiGEH)
21.	Auvergne-Rhône-Alpes, Isère (38)	Entre-deux-Guiers (2017)	12/06/2017	Aucun identifié	Ressource karstique vulnérable aux pollutions, connue pour sa mauvaise qualité bactériologique, dysfonctionnement technique d'une vanne condamnant un réseau non traité	ND	ND	ND	ND	ND
22.	Pays de la Loire, Maine-et-Loire (49)	Noyant et Lasse (2017)	25/06/2017	Aucun identifié (résultats négatifs)	Baisse importante du niveau de la nappe dans contexte de pompages importants et de sécheresse durable au mois de juin	ND	ND	ND	ND	ND
23.	Auvergne-Rhône-Alpes, Haute-Loire (43)	Bellevue la Montagne, Ceaux, Monlet, Chapelle Bertin (2017)	01/09/2017	<i>Salmonella</i> possible mais non confirmé (un seul prélèvement)	<b>Fortes précipitations, orages</b>	21	17	5,63	15	20170901_000043000964
24.	Auvergne-Rhône-Alpes, Savoie (73)	La Bridoire (2018)	23/04/2018	<i>Norovirus</i> , <i>Rotavirus</i> , <i>Astrovirus</i>	Absence de chloration, suspicion d'un retour d'eau contaminée	ND	ND	ND	ND	ND
25.	Hauts-de-France, Oise (60)	Breuil-le-Sec (2019)	28/04/2019	<i>Campylobacter</i>	Retour d'eaux usées d'une station d'épuration	35	23	3,04	7	20190428_000060000500
26.	Auvergne-Rhône-Alpes, Isère (38)	Charantonay, Saint-Georges-D'Espéranche (2019)	20/09/2019	<i>Salmonella</i>	Hypothèse d'un retour d'eau depuis une cuve de récupération d'eaux pluviales et présence de fumier à proximité du périmètre de protection du CAP	101	81	5,04	13	20190313_000038001107
27.	Provence-Alpes-Côte d'Azur, Alpes-Maritimes (06)	Grasse (2019)	30/10/2019	<i>Cryptosporidium</i>	<b>Fortes précipitations</b>	717	363	2,03	22	20191028_000060000869, 20191030_000012001242, 20191030_000006000367, 20191030_000006000872, 20191107_000006000871
28.	Normandie, Eure (27)	Saint-Marcel, La Chapelle-Longueville (2020)	28/03/2020	<i>Shigella Sonnei</i>	Présence d'un tuyau de type « tuyau d'arrosage », branché sur le réseau d'eau potable et resté connecté accidentellement au réseau des eaux traitées par la station d'épuration	16	13	4,9	27	Pas de numéro de signal le cas groupé étant détecté par une méthode ne prenant en compte que le contour des communes (Com2)

29.	Auvergne-Rhône-Alpes, Haute-Savoie (74)	La Balme-de-Sallingy (2020)	16/08/2020	<i>Salmonella</i>	<b>Précipitations</b> , phénomène orageux, ruissellement d'eaux de surfaces après des pluies abondantes drainant des zones de culture où les déchets des animaux étaient utilisés comme fertilisants et alimentant une ressource en eau potable non chlorée dans un bassin karstique	19	16	6,68	13	20200818_000222004762
30.	Auvergne-Rhône-Alpes, Cantal (15)	Saint-Simon - Rouffiac (2021)	27/01/2021	<i>Campylobacter</i>	<b>Fortes précipitations</b> , vulnérabilité du CAP en source superficielle dans une zone de pâturage d'animaux insuffisamment protégée, dispositif de chloration inadapté au débit d'eau	12	10	6,86	4	20210127_000060003909
31.	Grand-Est, Marne (51)	Hermonville (2021)	08/02/2021	<i>Salmonella</i>	Dysfonctionnements sur la station d'épuration 3 jours avant le pic épidémique observé.	60	50	6,18	6	20210208_000051003040

\* Date de début de signal statistique si détecté par le dispositif de surveillance sinon date de début de symptômes du premier cas si disponible

\*\* Agents identifiés dans les prélèvements humains

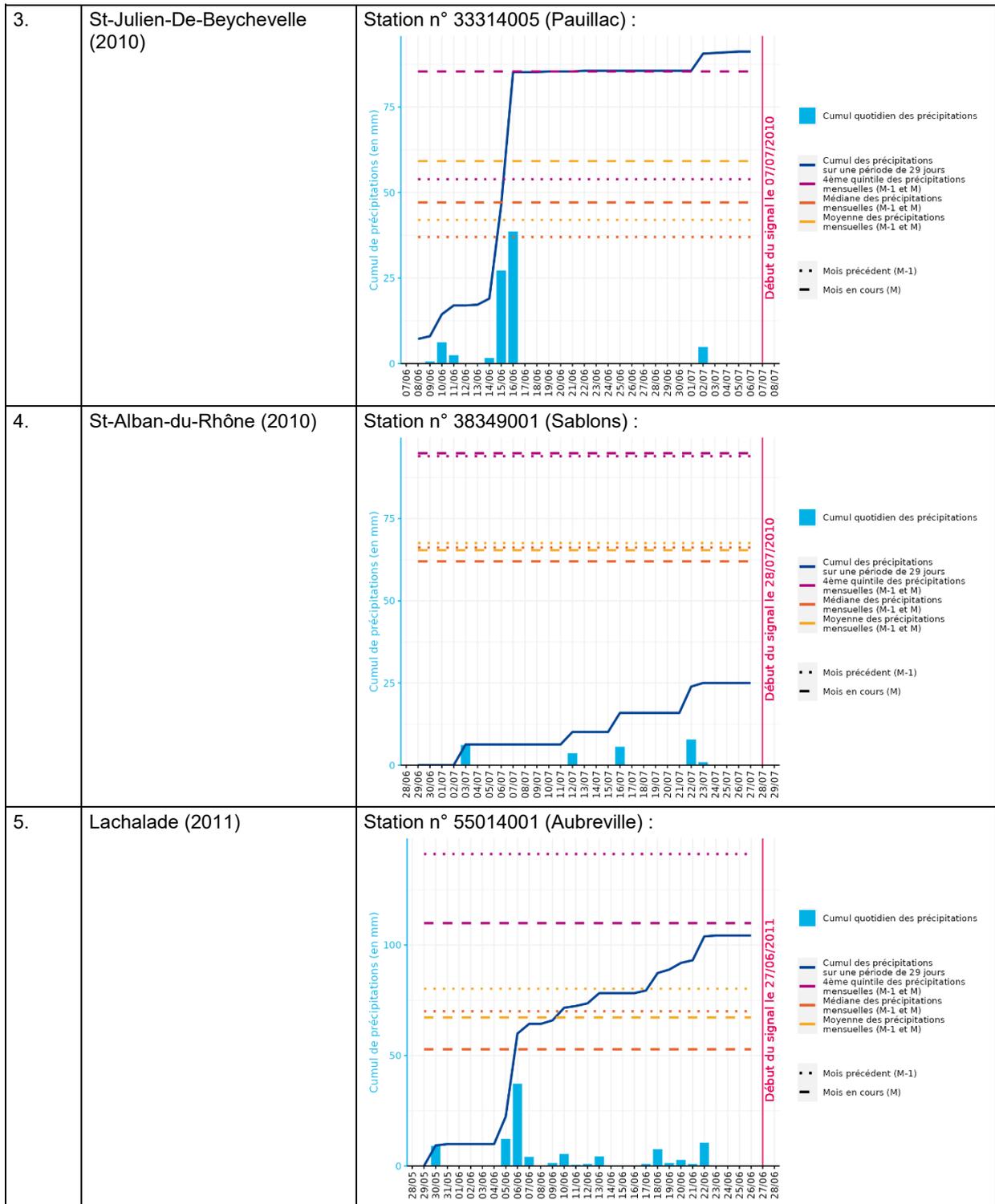
\*\*\* Excès de cas : différence du nombre de cas observés avec le nombre de cas attendus

\*\*\*\* Rapport de risque : rapport du nombre de cas observés sur le nombre de cas attendus

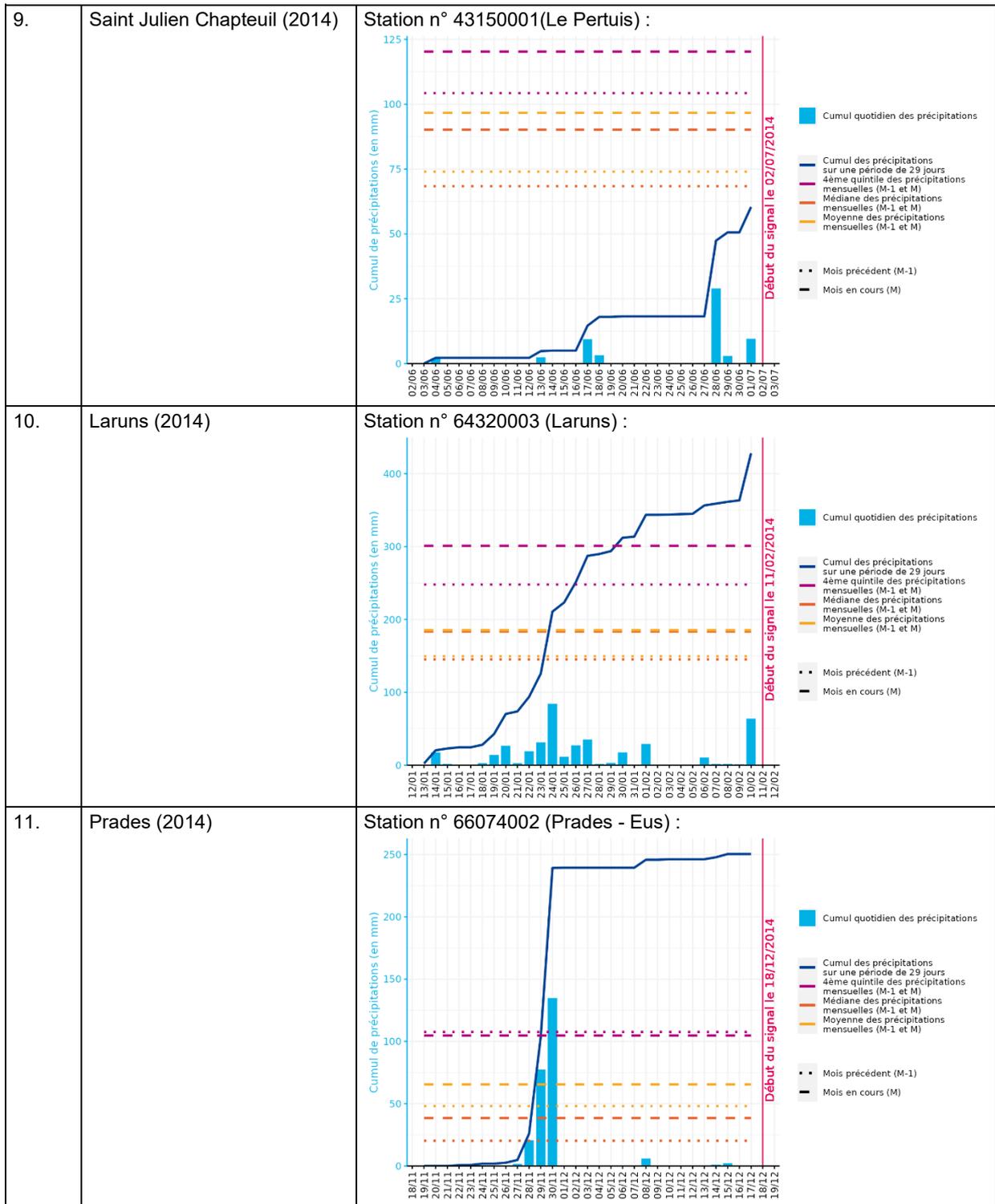
## Annexe 2 : Synthèse des données concernant les indicateurs pluviométriques estimés sur 21 jours et références pluviométriques au 4<sup>e</sup> quintile des précipitations normales mensuelles

**Tableau 3 : Synthèse des données concernant les indicateurs pluviométriques estimés sur 21 jours et références pluviométriques au 4<sup>e</sup> quintile des normales mensuelles pour les épidémies de GEA d'origine hydrique investiguées et répertoriées par Santé publique France (source : Santé publique France, janvier 2023)**

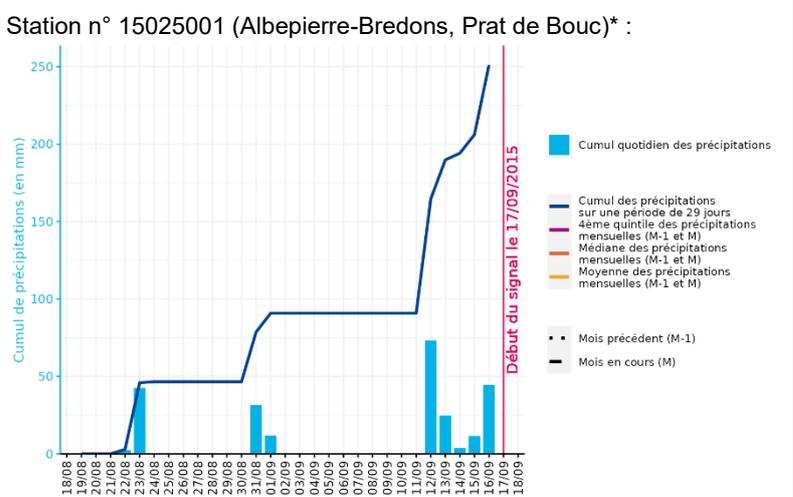
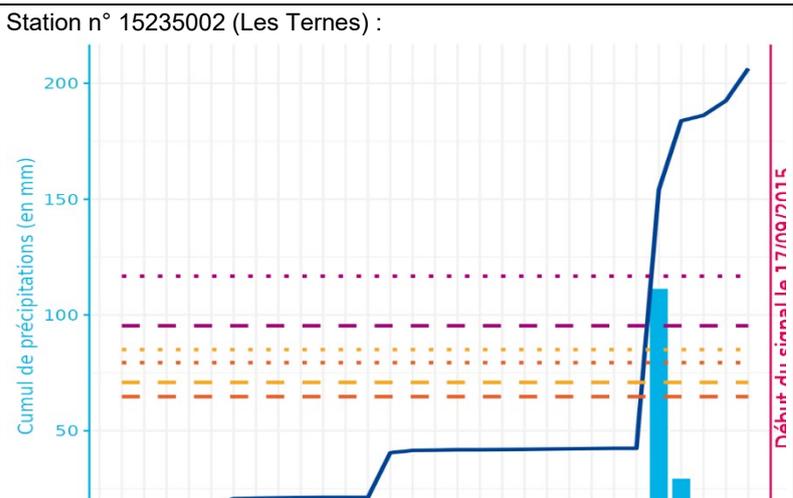
Index	Épidémies investiguées	Indicateurs et référence sur stations retenues
1.	Apprieu, Colombe, Rives (2010)	<p>Station n° 38133001 (Coublevie) :</p> <p>Cumul de précipitations (en mm)</p> <p>■ Cumul quotidien des précipitations</p> <p>— Cumul des précipitations sur une période de 29 jours</p> <p>— 4<sup>ème</sup> quintile des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>— Médiane des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>— Moyenne des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>● Mois précédent (M-1)</p> <p>■ Mois en cours (M)</p> <p>Debut du signal le 06/04/2010</p>
2.	Pérignat-Lès-Sarlièves (2010)	<p>Station n° 63113001 (Clermont-Ferrand) :</p> <p>Cumul de précipitations (en mm)</p> <p>■ Cumul quotidien des précipitations</p> <p>— Cumul des précipitations sur une période de 29 jours</p> <p>— 4<sup>ème</sup> quintile des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>— Médiane des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>— Moyenne des précipitations mensuelles (M-1 et M)</p> <p>● Mois précédent (M-1)</p> <p>■ Mois en cours (M)</p> <p>Debut du signal le 21/06/2010</p>



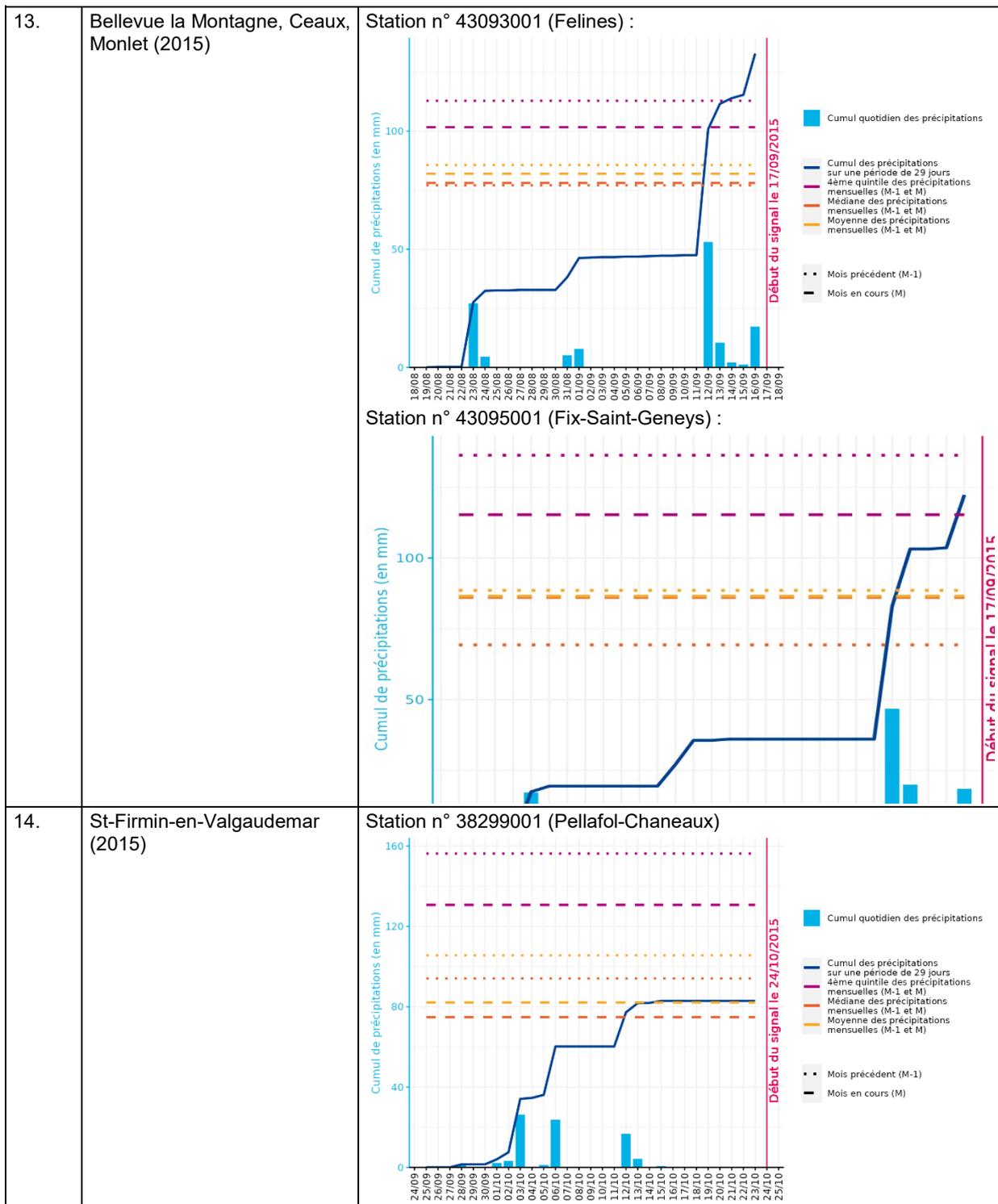
6.	Pleaux (2012)	<p>Station n° 15191001 (Saint-Illide) :</p>
7.	Bourg Saint-Andéol (2012)	<p>Station n° 84064001 (Lapalud) :</p>
8.	Taninges (2013)	<p>Station n° 74191003 (Morzine) :</p>

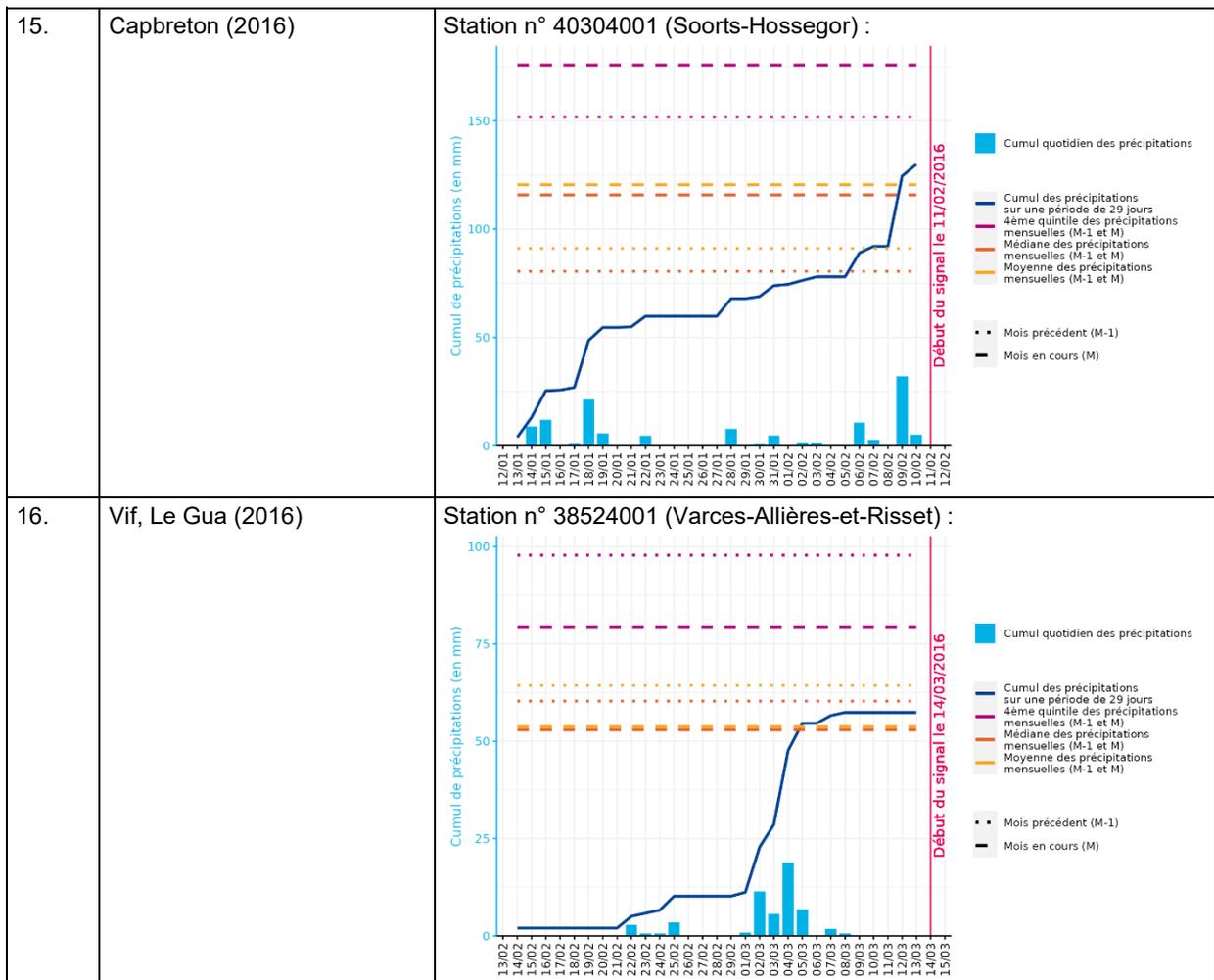


12. Pierrefort (2015)



\* Normales mensuelles non disponibles sur la station en question

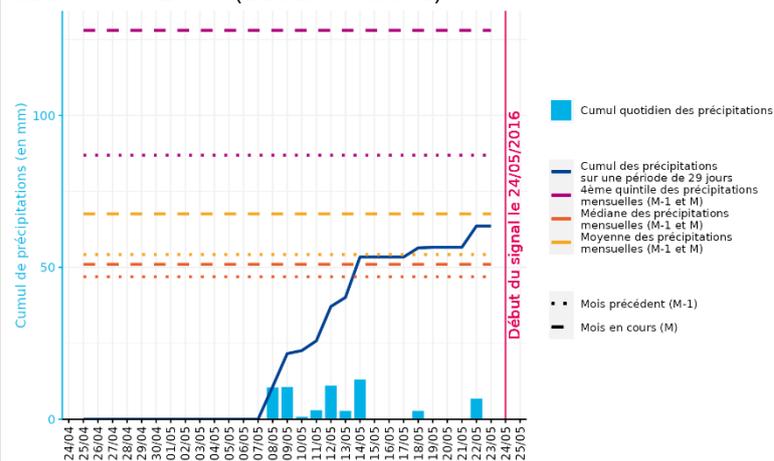




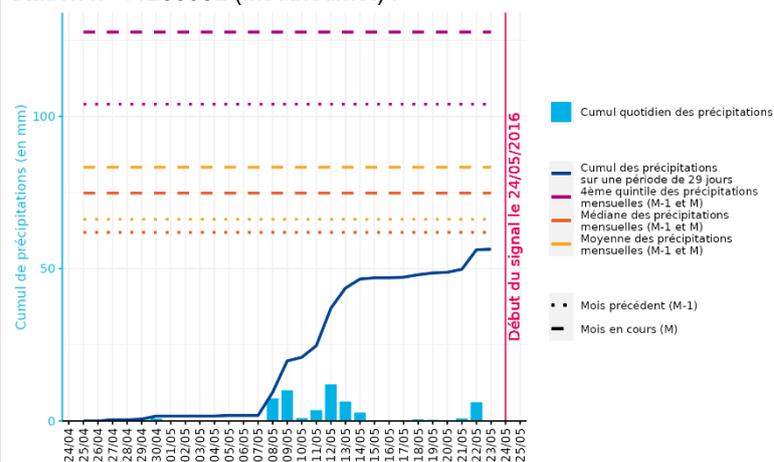
17.

Tuchan (2016)

Station n° 11124003 (Durban-Cordières) :



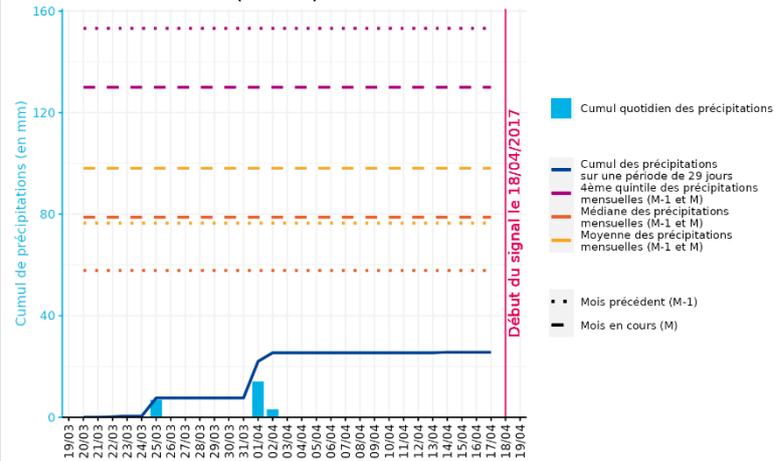
Station n° 11260002 (Mouthoumet) :



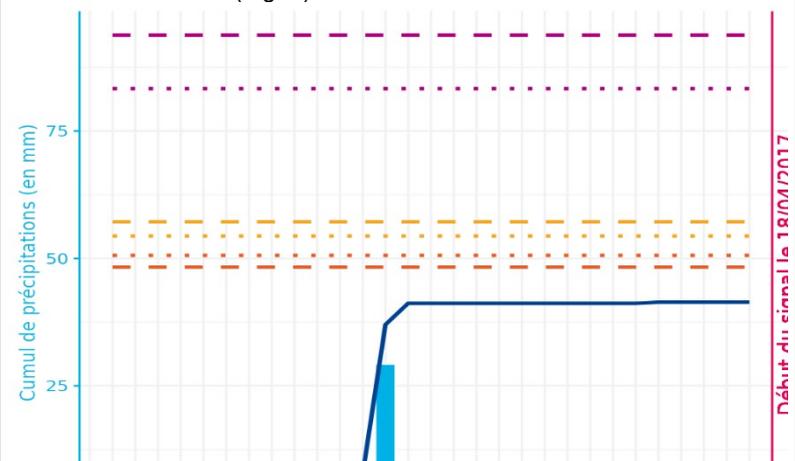
18.

Bonifacio (2017)

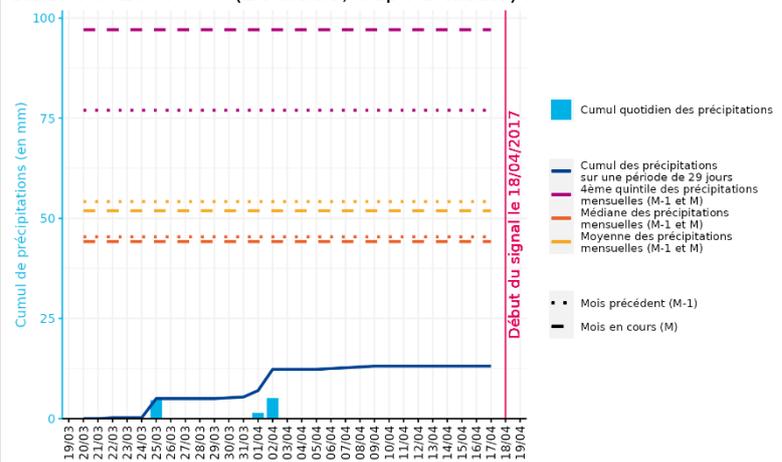
Station n° 20092001 (Conca) :

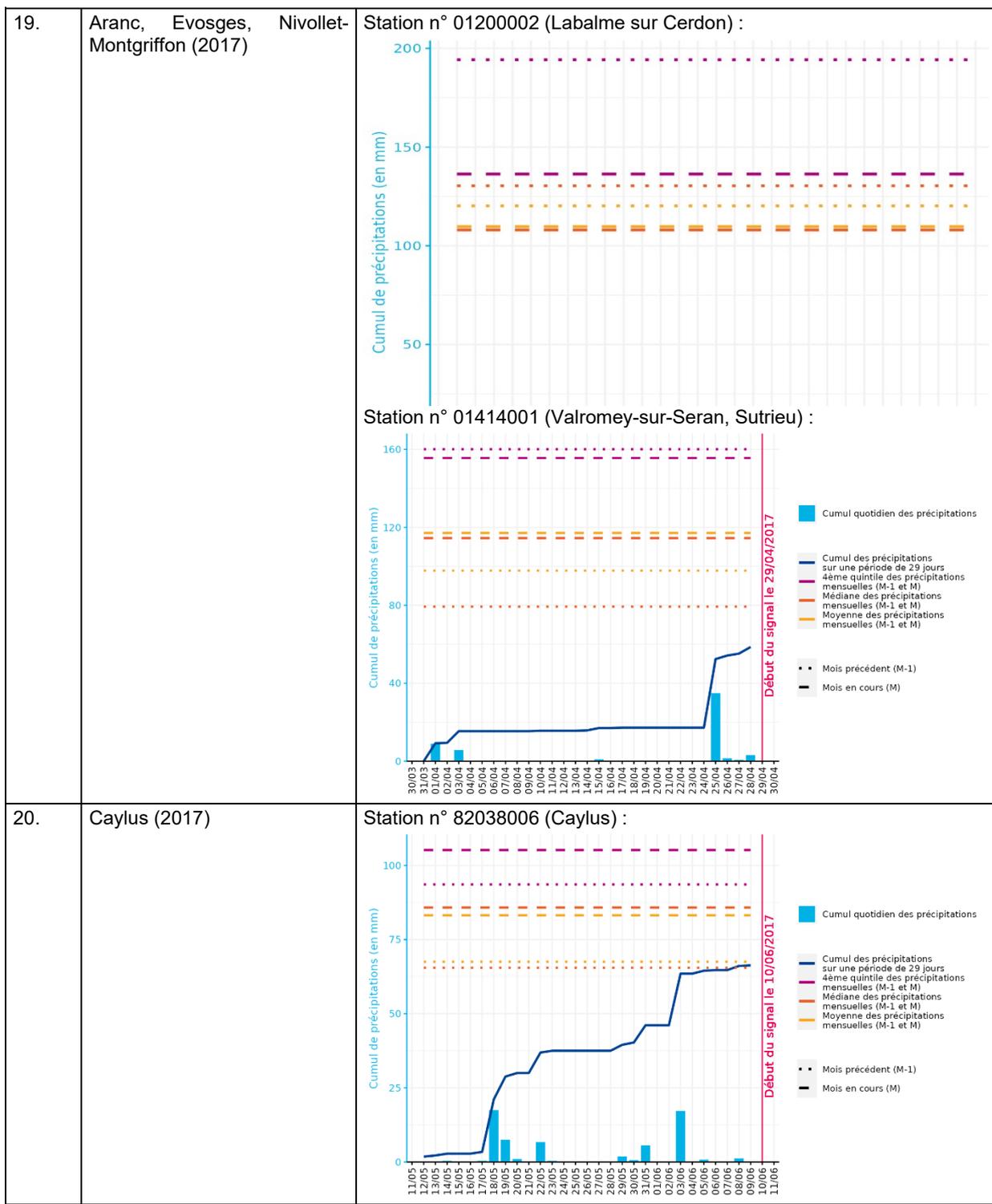


Station n° 20114002 (Figari) :



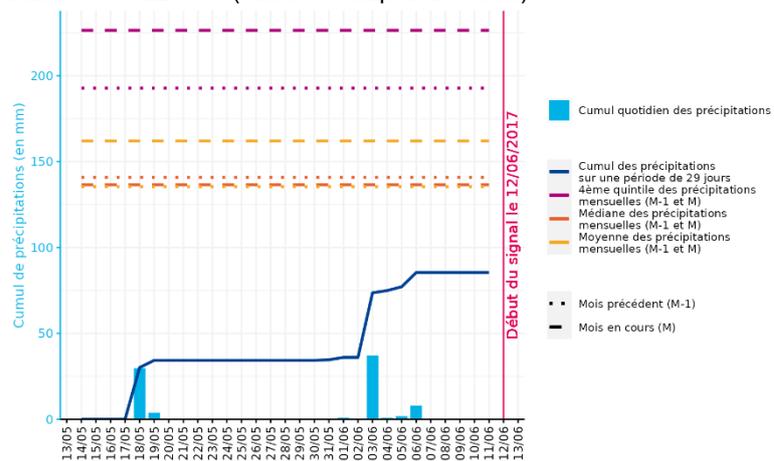
Station n° 20041001 (Bonifacio, Cap Pertusato) :



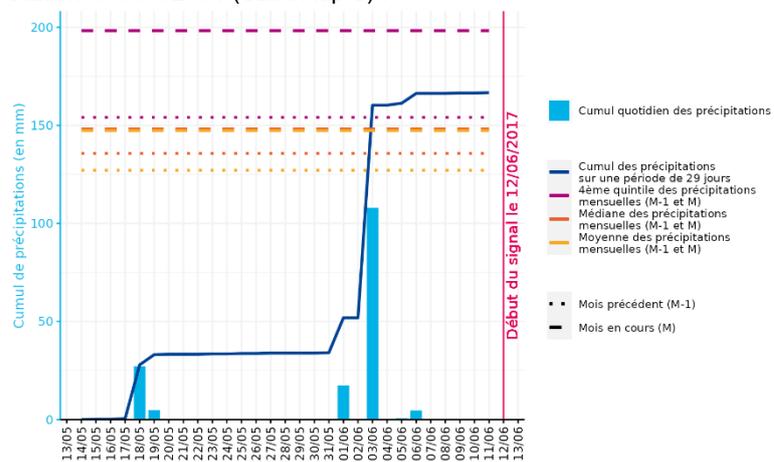


21. Entre-deux-Guiers (2017)

Station n° 73229001 (Saint-Christophe la-Grotte) :



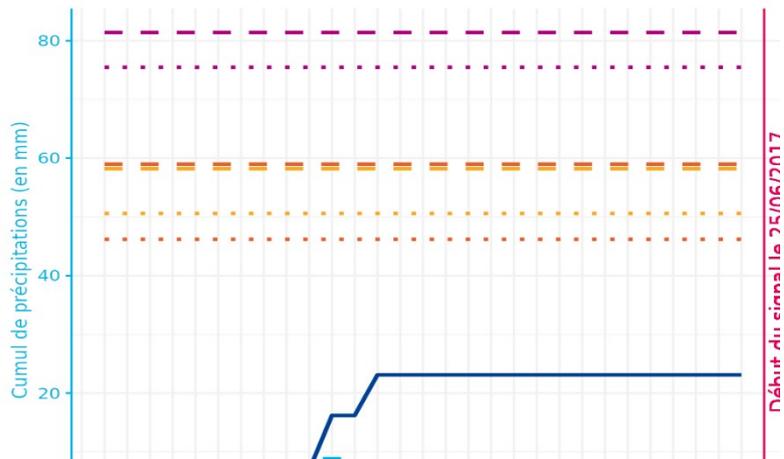
Station n° 38362001 (Saint Aupre) :



22.

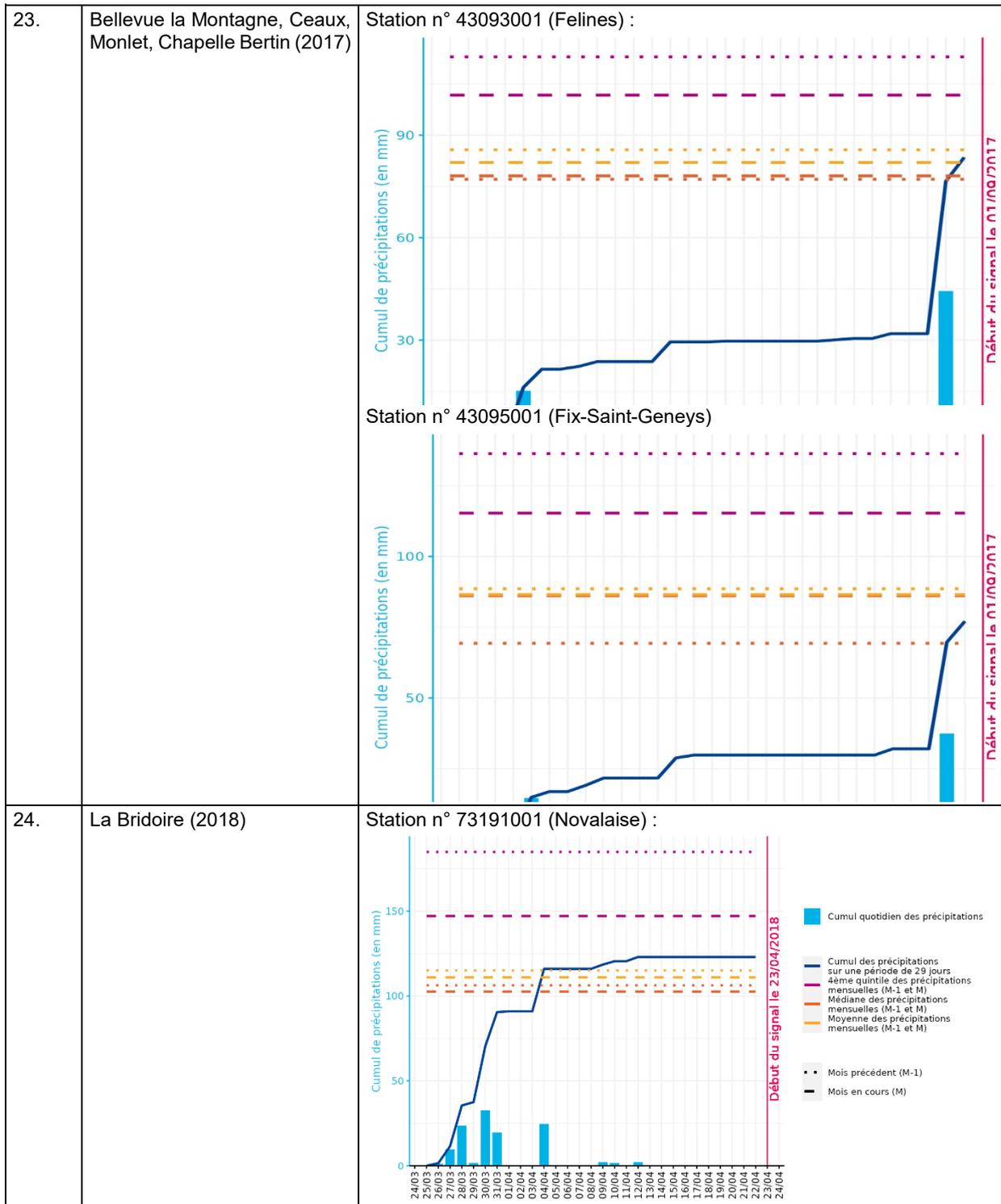
Noyant et Lasse (2017)

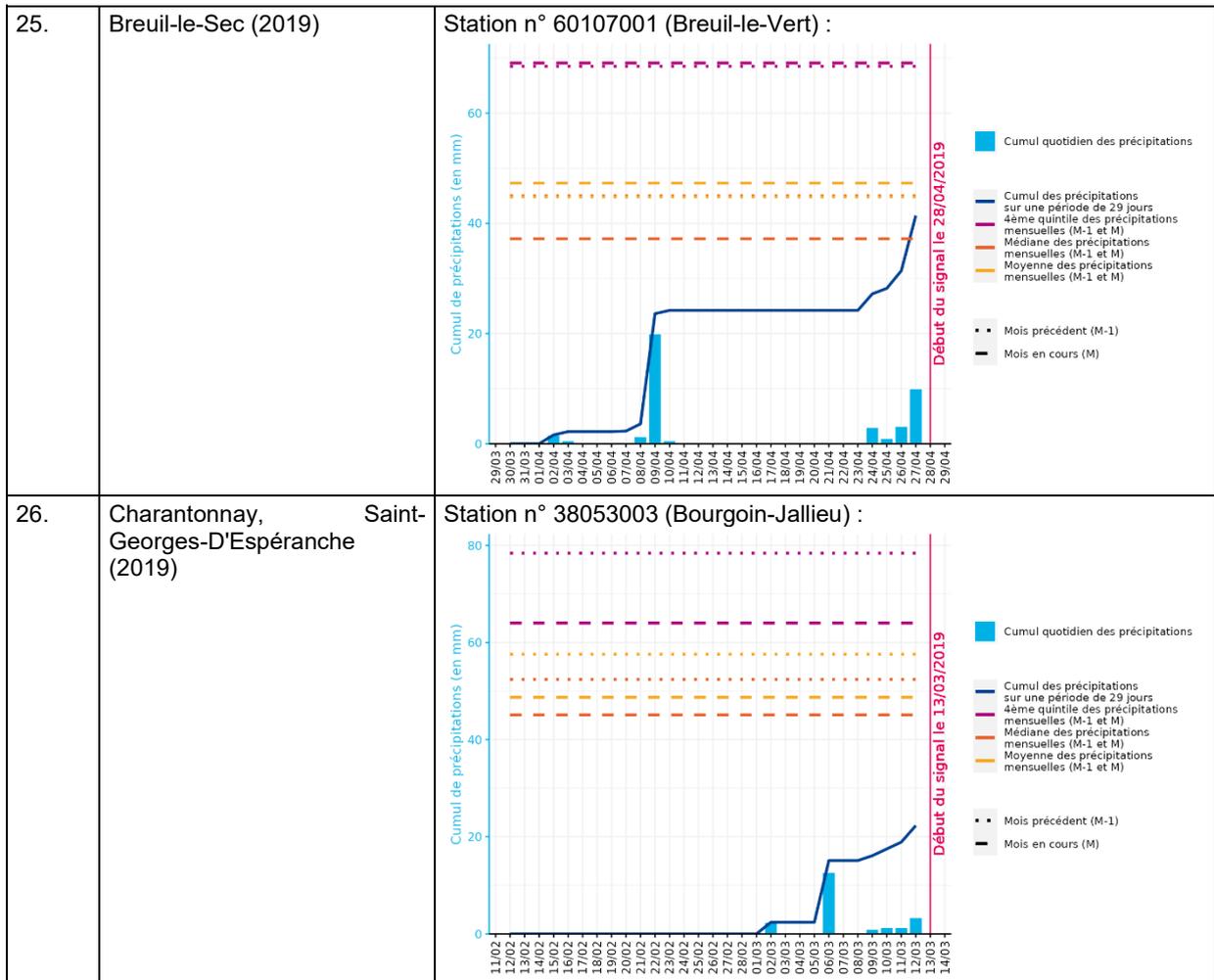
Station n° 72357001 (Thorée-les-Pins) :



Station n° 49368001 (Vernantes) :



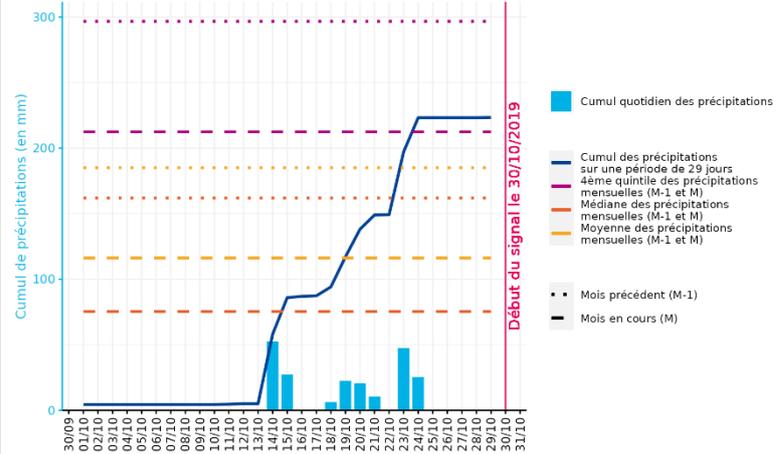




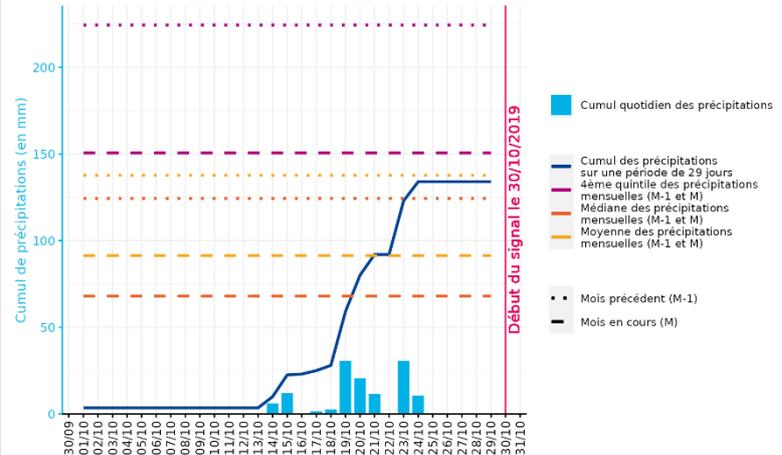
27.

Grasse (2019)

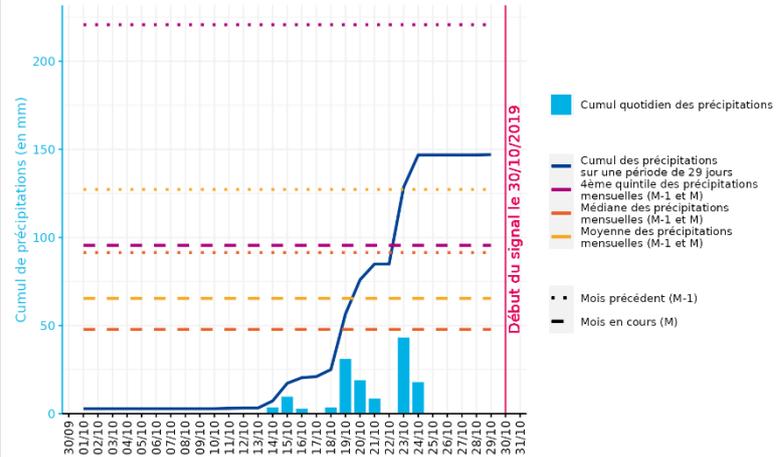
Station n° 06037002 (Caussols) :

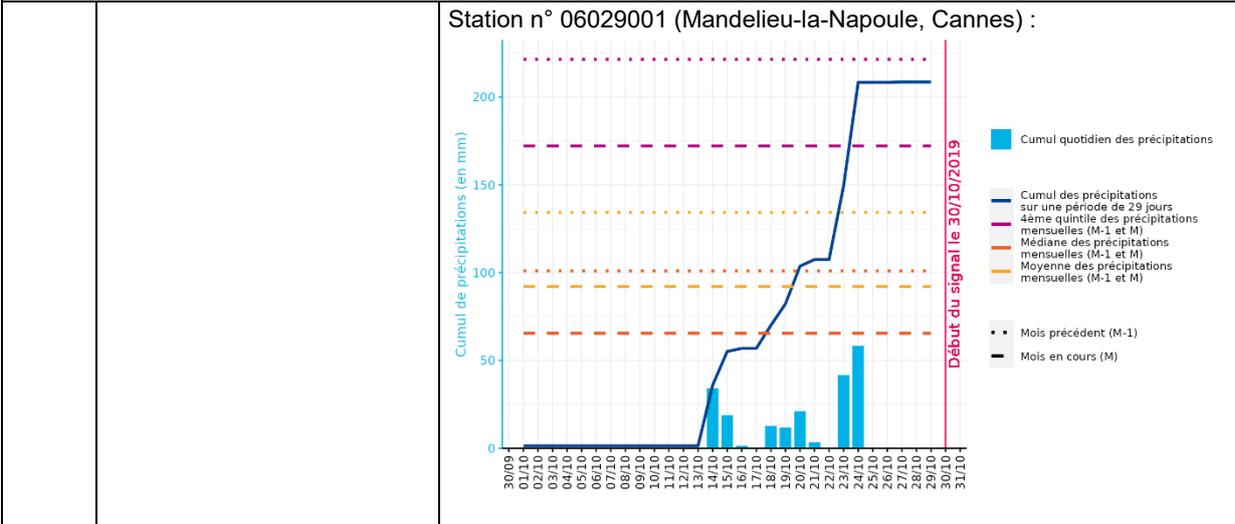


Station n° 83080001 (Mons) :

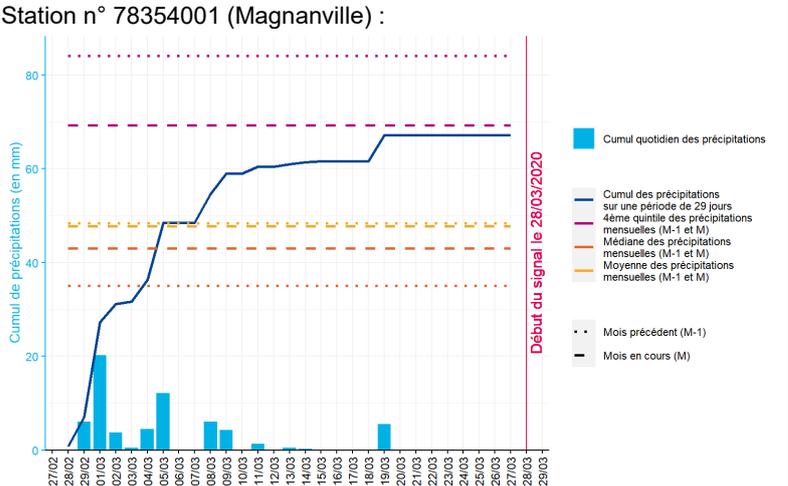
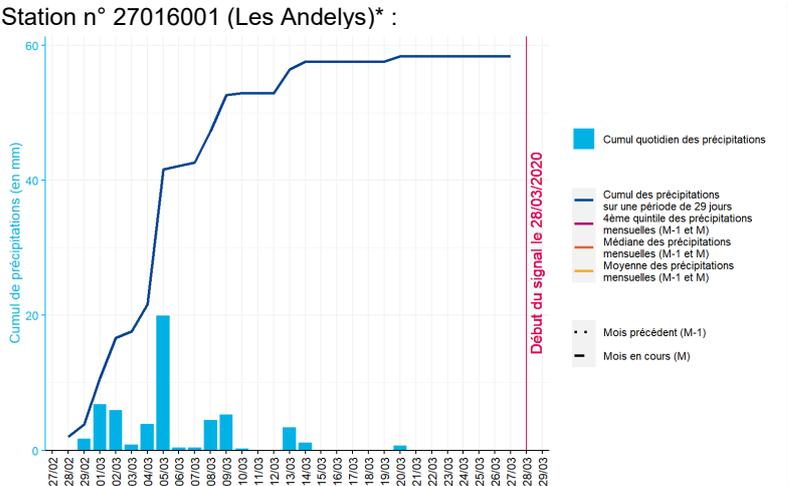


Station n° 06118002 (Saint-Cézaire-sur-Siagne) :





28. Saint-Marcel, La Chapelle-Longueville (2020)

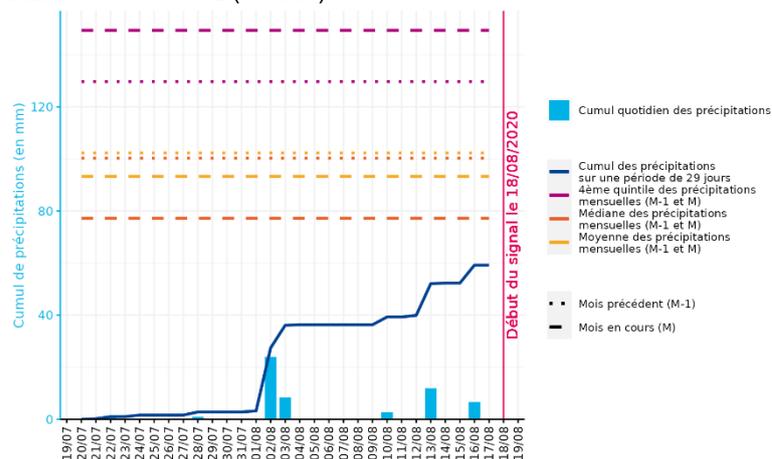


\* Normales mensuelles non disponibles sur la station en question

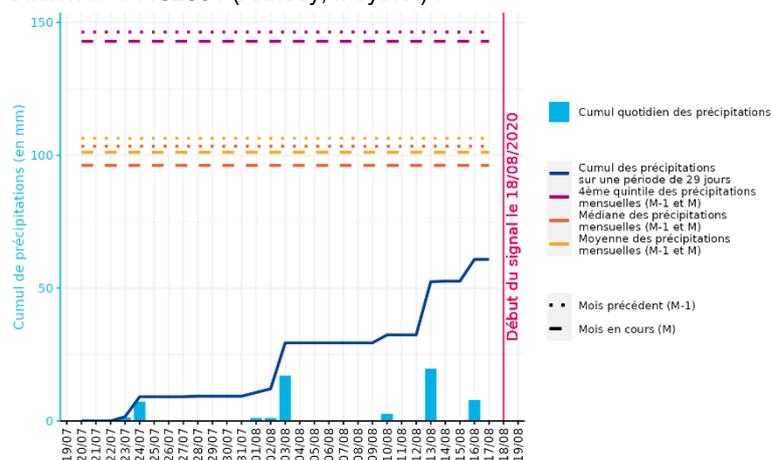
29.

La Balme-de-Sallingy (2020)

Station n° 74051002 (Cercier) :



Station n° 74182001 (Annecy, Meythet) :



30.	Saint-Simon - Rouffiac (2021)	<p>Station n° 15014001 (Aurillac ville) :</p> <p>Station n° 15118002 (Marmahac) :</p>
31.	Hermonville (2021)	Non disponible

## Annexe 3 : Description des alarmes pluviométriques estimées pour les épidémies investiguées

**Tableau 4 : Distribution des résultats de l'analyse de variabilité en termes de sensibilité (Se), spécificité (Sp) et valeur prédictive positive (VPP) pour les 3 types de références pluviométriques analysées et des durées supposées d'exposition de 15 à 31 jours (source : Santé publique France)**

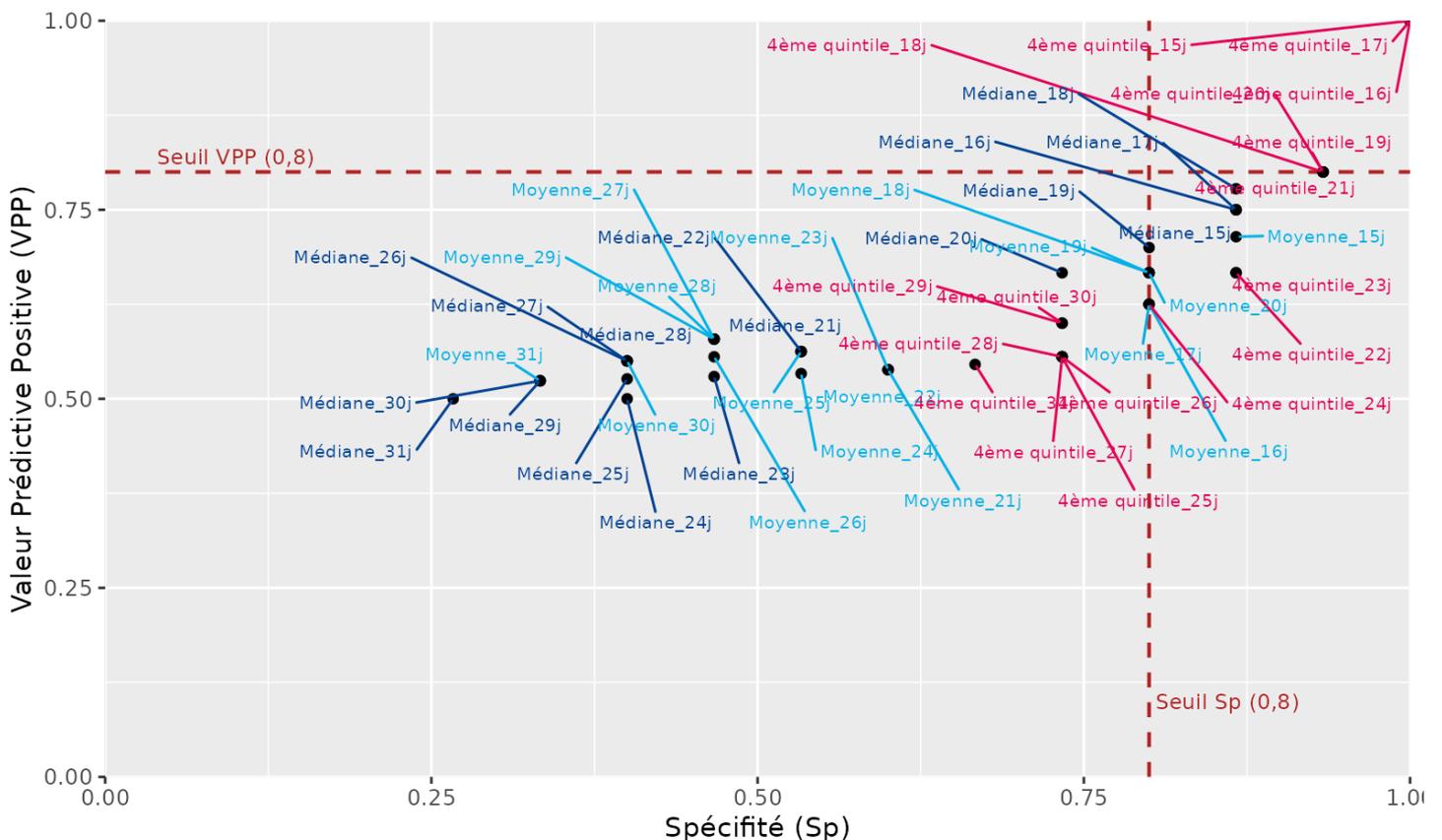
	Paramètre de la distribution des normales mensuelles								
	4 <sup>e</sup> quintile			Médiane			Moyenne		
	Se*	Sp**	VPP***	Se	Sp	VPP	Se	Sp	VPP
Minimum	0,20	0,60	0,50	0,40	0,27	0,47	0,33	0,33	0,52
1 <sup>er</sup> quartile	0,27	0,73	0,56	0,47	0,33	0,50	0,40	0,40	0,54
Médiane	0,27	0,87	0,67	0,60	0,47	0,53	0,47	0,60	0,55
Moyenne	0,30	0,84	0,71	0,60	0,53	0,59	0,53	0,59	0,58
3 <sup>e</sup> quartile	0,33	0,93	0,80	0,73	0,80	0,70	0,73	0,80	0,63
Maximum	0,40	1,00	1,00	0,73	0,87	0,78	0,73	0,87	0,71

\* Se pour sensibilité

\*\* Sp pour spécificité

\*\*\* VPP pour valeur prédictive positive

**Figure 10 : Représentation des couples spécificité – valeur prédictive positive pour des durées supposées d'exposition de 15 à 31 jours (source : Santé publique France)**



**Tableau 5 : Détail des alarmes estimées par épidémie investiguée éligible au calcul d'un indicateur pluviométrique (N=30), pour des durées supposées d'exposition de 15 à 31 jours et en considérant le 4e quintile des précipitations mensuelles comme référence pluviométrique (source : Santé publique France)**

Épidémies	Influence de la pluie au moment des investigations	Référence pluviométrique : 4 <sup>e</sup> quintile des précipitations mensuelles																
		15j	16j	17j	18j	19j	20j	21j	22j	23j	24j	25j	26j	27j	28j	29j	30j	31j
Apprieu, Colombe, Rives (2010)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pérignat-Lès-Sarlièves (2010)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-De-Beychevelle (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Alban-du-Rhône (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lachalade (2011)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pleaux (2012)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bourg Saint-Andéol (2012)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taninges (2013)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laruns (2014)	Non	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-Chapteuil (2014)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prades (2014)	Oui	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pierrefort (2015)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bellevue la Montagne (2015)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Firmin-en-Valgaudemar (2015)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capbreton (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Vif (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tuchan (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bonifacio (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aranc (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caylus (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entre-deux-Guiers (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Noyant (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bellevue la Montagne (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Bridoire (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Charantonay (2019)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Breuil-Le-Sec (2019)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grasse (2019)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Marcel (2020)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
La Balme-de-Sallingy (2020)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saint-Simon - Rouffiac (2021)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
Nombre d'alarmes		3	3	3	5	5	5	5	6	6	8	9	9	9	9	10	11	12

**Tableau 6 : Détail des alarmes estimées par épidémie investiguée éligible au calcul d'un indicateur pluviométrique (N=30), pour des durées supposées d'exposition de 15 à 31 jours et en considérant la médiane des précipitations mensuelles comme référence pluviométrique (source : Santé publique France)**

Épidémies	Influence de la pluie au moment des investigations	Référence pluviométrique : médiane des précipitations mensuelles																
		15j	16j	17j	18j	19j	20j	21j	22j	23j	24j	25j	26j	27j	28j	29j	30j	31j
Apprieu, Colombe, Rives (2010)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pérignat-Lès-Sarlièves (2010)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-De-Beychevelle (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Alban-du-Rhône (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lachalade (2011)	Oui	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pleaux (2012)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bourg Saint-Andéol (2012)	Oui	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Taninges (2013)	Non	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laruns (2014)	Non	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-Chapteuil (2014)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prades (2014)	Oui	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pierrefort (2015)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bellevue la Montagne (2015)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Firmin-en-Valgaudemar (2015)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Capbreton (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vif (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tuchan (2016)	Non	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bonifacio (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aranc (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caylus (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
Entre-deux-Guiers (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Noyant (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bellevue la Montagne (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
La Bridoire (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
Charantonay (2019)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Breuil-Le-Sec (2019)	Non	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Grasse (2019)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Marcel (2020)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
La Balme-de-Sallingy (2020)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saint-Simon - Rouffiac (2021)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nombre d'alarmes		8	8	8	9	10	12	16	16	17	19	20	21	21	21	22	22	22

**Tableau 7 : Détail des alarmes estimées par épidémie investiguée éligible au calcul d'un indicateur pluviométrique (N=30), pour des durées supposées d'exposition de 15 à 31 jours et en considérant la moyenne des précipitations mensuelles comme référence pluviométrique (source : Santé publique France)**

Épidémies	Influence de la pluie au moment des investigations	Référence pluviométrique : moyenne des précipitations mensuelles																
		15j	16j	17j	18j	19j	20j	21j	22j	23j	24j	25j	26j	27j	28j	29j	30j	31j
Apprieu, Colombe, Rives (2010)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pérignat-Lès-Sarlièves (2010)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-De-Beychevelle (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Alban-du-Rhône (2010)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lachalade (2011)	Oui	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pleaux (2012)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bourg Saint-Andéol (2012)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Taninges (2013)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Laruns (2014)	Non	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Julien-Chapteuil (2014)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prades (2014)	Oui	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pierrefort (2015)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bellevue la Montagne (2015)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
St-Firmin-en-Valgaudemar (2015)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Capbreton (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Vif (2016)	Non	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tuchan (2016)	Non	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bonifacio (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aranc (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caylus (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
Entre-deux-Guiers (2017)	Non	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Noyant (2017)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bellevue la Montagne (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
La Bridoire (2017)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
Charantonnay (2019)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Breuil-Le-Sec (2019)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grasse (2019)	Oui	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Saint-Marcel (2020)	Non	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
La Balme-de-Sallingy (2020)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saint-Simon - Rouffiac (2021)	Oui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
Nombre d'alarmes		7	8	8	9	9	9	13	13	13	15	16	18	20	20	20	21	21

